www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

11e JAARGANG No. 10 blz. 285-316 OCTOBER 1949

Philips Technisch Tijdschrift

BEHANDELENDE TECHNISCHE VRAAGSTUKKEN
SAMENHANGENDE MET DE PRODUCTEN, WERKWIJZEN EN ONDERZOEKINGEN
VAN DE N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN

REDACTIE: LABORATORIUM VOOR WETENSCHAPPELIJK ONDERZOEK DER N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN, EINDHOVEN

HET „EXPRESSOR"-SYSTEEM VOOR MUZIEKOVERDRACHT

door R. VERMEULEN en W. K. WESTMIJZE. 534.86:621.395.665.1

Bij de overdracht — hetzij per radio, hetzij via een systeem van geluidsregistratie — van de muziek van een groot orkest staat men voor de volgende moeilijkheid. Terwijl in de concertzaal de verschillen in het geluidniveau tot ca 80 db kunnen bedragen, zijn de genoemde systemen van geluidsoverdracht, indien ingericht voor een brede frequentieband, niet in staat grotere verschillen dan bijv. 50 db te verwerken zonder dat in de weergave vervorming ofwel sterk ruisen optreedt. Bij het uitzenden resp. registreren past men dan ook algemeen „compressie" toe, dwz. men versterkt de luide passages minder dan de zwakke. Indien dit comprimeren op de juiste wijze geschiedt, kan, bij normale weergave, het resultaat aanvaardbaar zijn, doch het zal uiteraard in „dynamiek" bij de oorspronkelijke muziek aanzienlijk ten achter staan. Om hierin verbetering te brengen, heeft men systemen van „expansie" bedacht, die bij het weergeven de compressie moeten compenseren. De schrijvers betogen, dat het comprimeren beter kan geschieden door de hand van een bekwame vakman dan automatisch. Het „Expressor"-systeem zorgt er voor dat de mate van expansie ondubbelzinnig is bepaald door de mate van compressie.

Het is een bekend verschijnsel dat de reproductie van muziek wordt begeleid door min of meer storende bijgeluiden. Door de verbeteringen, die men allengs in de weergave heeft weten aan te brengen, zijn de overblijvende gebreken (waaronder de aanwezigheid van bijgeluiden) steeds meer in het oog — of liever: in het oor — gaan springen, hetgeen aanleiding is tot een steeds hoger opschroeven van de eisen die men in dit opzicht aan de weergave stelt. Het is daarmee als met het verduisteren van een raam: het afsluiten van de grote openingen doet kleine kieren des te meer opvallen. Een voorbeeld moge dit illustreren.

Een van de belangrijkste recente verbeteringen op het gebied van geluidsoverdracht [1]) is de stereofonie, waarbij, volgens het door Philips uitgewerkte systeem [2]), het geluid van bijv. twee luidsprekers, die ieder met een microfoon of een fonogram-aftaster zijn verbonden, samenvloeit tot één „geluidsbeeld". De toehoorder krijgt de indruk dat dit geluidsbeeld zich tussen de beide luidsprekers in bevindt. Dit geldt echter niet voor de storende geluiden (voor zover afkomstig van de overdrachtapparatuur), daar de storingsbijdragen van de twee luidsprekers onafhankelijk van elkaar zijn en dientengevolge door het oor *in* elk der luidsprekers worden gelocaliseerd. De storingen worden dus uit andere richtingen waargenomen dan de muziek, waardoor men zich van de eerstgenoemde gemakkelijker kan abstraheren. Men zou derhalve mogen verwachten dat bij stereofonische weergave de storingen minder hinderlijk zullen zijn dan bij gewone weergave. In overeenstemming met het in de vorige alinea opgemerkte is echter vaak het omgekeerde het geval: de door het stereofonische effect zo sterk ondersteunde illusie dat men originele muziek hoort, wordt telkens verbroken doordat de storingen er aan herinneren dat de muziek slechts een reproductie is.

Veel hangt hierbij overigens ook af van het vermogen en de bereidwilligheid van de toehoorder

[1]) Onder overdracht verstaan wij hier zowel het overbrengen van de ene plaats naar de andere (langs telefoonlijnen of per radio) als het maken van een fonogram (geluidsregistrogram, bijv. een grammofoonplaat, een Philips-Millerband, enz.), dat later kan worden afgespeeld.

[2]) K. de Boer, Stereofonische geluidsweergave, Philips techn. T. **5**, 112-119, 1940; Stereofonische afbeelding, Philips techn. T. **8**, 51-56, 1946.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

zich op de muziek te concentreren en daardoor de storingen weg te denken. Dat echter niet veel luisteraars zich in dit opzicht enige inspanning willen getroosten, blijkt wel hieruit dat men bij radiotoestellen en electrische grammofoons de regelknop voor de hoge tonen meestal ver teruggedraaid vindt. De reden hiervoor is hoofdzakelijk gelegen in de algemene afkeer van het ruisen, dat een der voornaamste bestanddelen van de storende geluiden vormt. Uiteraard gaan door deze maatregel de hoge tonen uit de muziek grotendeels verloren. Hoewel de technici het er niet over eens zijn in hoeverre het publiek een getrouwe weergave van het gehele hoorbare frequentiegebied waardeert, wordt het onderdrukken van het geruis ten koste van de hoge tonen der muziek algemeen beschouwd als een onaanvaardbaar lapmiddel.

Het ruisprobleem doet zich voor op vele gebieden van de communicatietechniek, doch niet overal in dezelfde mate. Bij de telegraaf en de telefoon bijv. komt het er op aan, op de meest economische wijze de signalen zodanig over te brengen dat zij, ondanks stooreffecten, nog met voldoende zekerheid kunnen worden herkend. Bij de overdracht van muziek echter gaat de eis veel verder: daar verlangt men dat de storingen, zo al niet onwaarneembaar, dan toch onopvallend zijn. Verlagen van het peil der storingen tot beneden de drempelwaarde van het gehoor is, gezien de enorme gevoeligheid van het oor, zo moeilijk dat men moet betwijfelen of men daarin ooit zal slagen. Gelukkig echter vormt een andere eigenschap van het gehoor enigszins een tegenwicht: het oor heeft namelijk moeite, een zwak geluid tussen sterkere geluiden op te merken. Dank zij deze eigenschappen kan men genoegen nemen met het verzwakken van de storingen tot een zodanig peil dat zij worden gemaskeerd, hetzij door de muziek zelf, hetzij door andere geluiden die toch altijd enigermate in de concertzaal (resp. studio) en in het auditorium waar eventueel de muziek wordt weergegeven, aanwezig zijn. De laatstbedoelde geluiden zijn, afgezien van een gedeelte dat van buiten tot de zaal doordringt, afkomstig van het publiek zelf. Dit „zaalrumoer" — met welke term wij deze geluiden zullen aanduiden — zou, objectief beschouwd, moeten worden gerangschikt onder de storende bijgeluiden; het heeft echter bij muziekoverdracht, dank zij zijn maskerende werking, tot op zekere hoogte ook een lichtzijde. Bovendien is het een geluid dat „natuurlijk" aandoet; als zodanig kan het bijdragen tot het scheppen van de gewenste sfeer in de ruimte waarin de muziek wordt weergegeven.

Niveauverschillen

Welke niveauverschillen bestaan er tussen de intensiteit van de luidste muziekpassages en het zaalrumoer, resp. tussen de maximale intensiteit die de overdrachtapparatuur kan verwerken, en de bijgeluiden die deze apparatuur zelf voortbrengt?

Men kan wel aannemen dat de hoogste pieken die in het geluid van een groot orkest voorkomen, tot dicht bij de pijngrens van het oor reiken. In overeenstemming daarmee zijn metingen van Amerikaanse onderzoekers [3]), die vonden dat een orkest van 75 man in de pieken een vermogen van ca 70 W kan produceren, hetgeen in een gemiddelde concertzaal overeenkomt met ca 110 db boven het gebruikelijke nulniveau van 10^{-12} W/m^2.

De sterkte van het zaalrumoer is gemeten in bioscooptheaters [4]). In een lege zaal vond men voor de geluiden die van buiten tot de zaal doordringen, een sterkte van 25 db boven het nulniveau, en in met publiek gevulde zalen 38 tot 44 db (gemiddeld 42 db); bij bijzonder spannende gedeelten van de film daalde het zaalgeluid tot 32 db. Deze laatste waarde zal niet ver af liggen van het niveau waarop men moet rekenen in een concertzaal. Passages van de muziek die beneden dit peil liggen, „verdrinken" in het zaalrumoer. Het verschil tussen het hoogste en het laagste geluidspeil in een concertzaal — de „dynamiek" of „span" [5]) — bedraagt dus ongeveer 80 db.

Bij geluidsoverdracht moet men rekening houden, enerzijds met het gevaar van niet-lineaire vervorming (disproportie [6])), dat bij de hoge pieken in de geluidsterkte dreigt op te treden, anderzijds met de aan het overdrachtsysteem eigen bijgeluiden. Bij de Philips-Miller-band [7]) — waartoe wij ons in het volgende in hoofdzaak zullen beperken — kan men rekenen op een verschil van hoogstens 50 db tussen het niveau waarbij de disproportie ontoelaatbaar groot wordt, en het ruisniveau. (Dit

---

[3]) L. J. Sivian, H. K. Dunn en S. D. White, Absolute amplitudes and spectra of certain musical instruments and orchestras, J. Acoust. Soc. Amer. **2**, 330-371, 1931.

[4]) W. A. Mueller, J. Soc. Mot. Pict. Engrs. **35**, 48-53, 1940.

[5]) De term „oorspan" is voorgesteld door de Hoofd-commissie voor de Normalisatie in Nederland (zie V 1029, blz. 16, no. 3.48) ter aanduiding van het verschil tussen de pijngrens en de onderste gehoorgrens van het oor. Wij gebruiken hier het woord „span" in de ruimere zin van het verschil tussen twee uiterste niveaus.

[6]) Eveneens op voorstel van de Hoofdcommissie voor de Normalisatie in Nederland (V 1029, 1.33) wordt „disproportie" ingevoerd voor de langere term „niet-lineaire vervorming". Het begrip omvat alle gevolgen van een niet-lineaire vorm van de differentiaalvergelijkingen die de uitgangsgrootheden van een vierpool verbinden met de ingangsgrootheden, dus zowel de vorming van harmonischen als die van combinatietonen (intermodulatie).

[7]) R. Vermeulen, Het Philips-Miller-systeem voor geluidsregistratie, Philips techn. T. **1**, 107-114, 1936.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

laatste hangt mede af van de breedte van het frequentiespectrum, die hier is gesteld op 8000 per/sec.)

In het algemeen schiet de span van het overdrachtsysteem te kort (30 db in het genoemde geval) om de span van de oorspronkelijke muziek te kunnen verwerken.

Niveaus die de span in overdrachtsystemen bepalen

Alvorens de maatregelen te bespreken waartoe deze tegenstrijdigheid voert, willen wij wat nader ingaan op de grenzen die de span bepalen van een overdrachtinstallatie met optische aftasting, zoals bij geluidsfilm. Beschouwen wij eerst de benedengrens, die door het ruisen wordt bepaald.

Het oorspronkelijke en het weergegeven geluid zijn verbonden door de volgende schakels: microfoon - versterker - geluidschrijver - band - lichtstraal - fotocel - versterker - luidspreker, die ieder een zekere bijdrage tot het totale geruis leveren. Daar deze geruisbronnen incohaerent zijn, en dus niet hun amplituden, maar hun vermogens moeten worden opgeteld, is bijv. de bijdrage van een bron met een amplitude die de helft is van die van een andere bron, slechts 1 db. De sterkste geruisbron bepaalt dus in hoofdzaak het onderste niveau van de span.

Als men moderne microfoons gebruikt in een geschikte schakeling, en zorgvuldig geconstrueerde versterkers, dan leveren deze elementen zeker niet het meeste geruis, evenmin als de luidsprekers.

Langer willen wij stilstaan bij de fotocel. Het geruis hiervan is een gevolg van de deeltjes-structuur der electriciteit, en als zodanig evenredig met de wortel uit het aantal deeltjes (electronen) dat per seconde door de cel gaat, dus met de wortel uit de gemiddelde waarde van de fotocelstroom. Deze gemiddelde waarde is naar beneden toe begrensd doordat zij steeds minstens gelijk moet zijn aan de pieken waarmee de stroom bij het aftasten van de band wordt gemoduleerd. Er bestaan dan ook (gewoonlijk met „noiseless" aangeduide) systemen van geruisbestrijding waarbij de gemiddelde fotocelstroom zodanig wordt gevarieerd dat hij niet groter is dan telkens voor de modulatie wordt vereist, zodat het van deze stroom afkomstige ruisen minimaal is. Verdere verbetering zou alleen te krijgen zijn, als de verlichting van het spoor kon worden vergroot. Indien deze door het gebruik van bijv. een gloeilamp met grotere helderheid of van een betere optiek, kon worden verdubbeld, zou aan de uitgang van de fotocel de signaalamplitude eveneens met een factor 2, het ruisen echter slechts met een factor $\sqrt{2}$ toenemen, zodat de span tussen het maximale signaal en het geruis een factor $\sqrt{2}$, d.i. 3 db, groter zou worden. Bij de gebruikelijke apparatuur evenwel is een verbetering van deze aard nauwelijks te verwachten en ook niet urgent.

Ook het licht heeft een „korrel"-structuur (fotonen), zodat de in de fotocel vallende lichtbundel zelf reeds een bron van geruis vormt. Daar echter voor het vrijmaken van één electron uit een gebruikelijke fotokathode gemiddeld ongeveer 200 fotonen nodig zijn, is de structuur van de electronenstroom die door de fotocel loopt, veel grover dan die van de lichtbundel, zodat de geruisbijdrage van deze laatste mag worden verwaarloosd.

Ten slotte is er nog het geruis van de geluidsband. Dit is sterker dan dat van alle hiervóór opgesomde geruisbronnen, zelfs bij een vers gesneden Philips-Miller-band, hoewel hieraan, in vergelijking met andere geluidsband voor optische aftasting, zeer weinig geruis inhaerent is. Dit laatste is daaraan te danken dat het geluidspoor door de beitel volkomen vrij is gemaakt van de zwarte deklaag (*fig. 1a*), en dat deze deklaag, buiten het spoor, een volkomen verwaarloosbare hoeveelheid licht doorlaat (dit in tegenstelling tot fotografisch gezwarte films, die een zekere korreligheid vertonen, welke tot geruis aanleiding geeft; vgl. bijv. fig. 8 en fig. 12 van het in [7]) aangehaalde artikel. De voornaamste bron van het zwakke bandgeruis wordt gevormd door de smalle, wigvormige randen van het spoor (*A*, fig. 1*b*), in welke randen enige fluctuatie van de lichtdoorlating kan optreden. Daarbij komen nog de onregelmatigheden van het snijproces zelf. Als men bedenkt dat de randen van het spoor ontstaan doordat de beitel het materiaal losscheurt, dan moet men er zich eigenlijk over verwonderen dat een gaafheid als hier nodig is, inderdaad mogelijk blijkt te zijn.

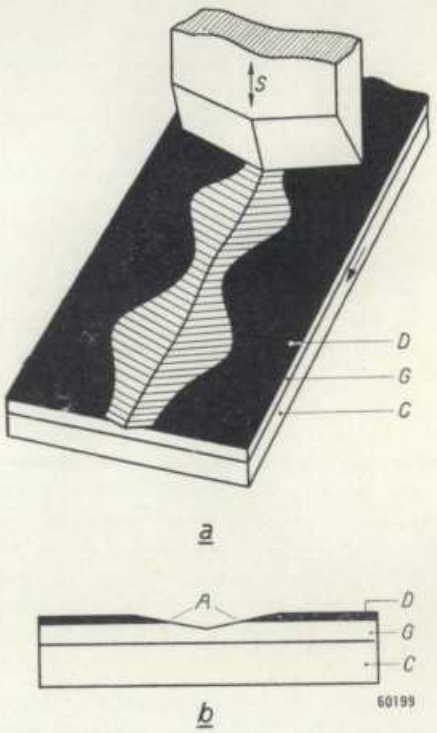


Fig. 1. *a*) Registratie van geluid op een Philips-Miller-band. Deze laatste bestaat uit een strook van celluloid *C*, waarop een laag doorzichtige gelatine *G* en een dunne ondoorzichtige deklaag *D* zijn aangebracht. De band wordt in de richting van de pijl onder de beitel *S* van de geluidschrijver doorgevoerd; de op en neer gaande beitel snijdt daarbij een geluidspoor in de deklaag. *b*) Vergrote doorsnede van een Philips-Miller-band. *A* randen van het geluidspoor; overige letters als in (*a*).

Ernstiger is het geruis dat is toe te schrijven aan zeer banale oorzaken, maar dat vaak alle andere bijdragen overtreft, namelijk het geruis dat afkomstig is van stofdeeltjes en beschadigingen als krasjes en putjes in het oppervlak, en van verontreinigingen in het materiaal van de geluidsband. Stofjes en verontreinigingen onderscheppen, krasjes verstrooien telkens even een hoeveelheid licht. Dit alles uit zich als een soort geruis dat het best met het woord „gepruttel" is gekenschetst.

Het verruimen van de span door verhogen van de bovengrens wordt bemoeilijkt door tal van factoren, die deels een principieel karakter dragen, deels meer van practische aard zijn. Men zou de geluidschrijver van het Philips-Millersysteem een grotere amplitude kunnen laten maken zonder

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

dat disproportie optreedt, door de schrijver een lagere resonantiefrequentie te geven. (Om daarbij, door het bredere spoor, niet tevens het ruisniveau te verhogen, zou men het boven vermelde systeem kunnen toepassen, waarbij het spoor alleen maar breed wordt gemaakt wanneer het noodzakelijk is, dus tijdens de luide passages.) Doch de prijs voor deze grotere amplitude is een minder vlakke frequentiekarakteristiek [8]).

Wij willen hier nog een andere, eveneens niet geheel onbedenkelijke methode vermelden die in principe een verruiming van de span mogelijk maakt. Denkt men het geluidspectrum verdeeld in een aantal frequentiebanden, dan treden de grote amplituden van het geluid gewoonlijk alleen op in bepaalde banden. Is deze verdeling ongeveer bekend — zoals het geval is bij de muziek van de meeste instrumenten en bij het gesproken woord in verschillende talen — dan kan men de opneeminrichting een zodanige frequentiekarakteristiek geven dat de banden waarin slechts kleine pieken voorkomen, zoveel meer worden versterkt dan de andere, dat in alle banden dezelfde waarschijnlijkheid bestaat dat de pieken juist de grens bereiken die door de disproportie wordt gesteld. Om een gelijkmatige frequentieweergave te verkrijgen, moet men de frequentiekarakteristiek van de weergeefapparatuur het spiegelbeeld maken van die der registreerinstallatie, dwz. de eerst extra versterkte banden worden nu verzwakt. De winst bestaat hierin dat de geruisbijdrage van deze banden daarbij eveneens wordt verzwakt. Het is duidelijk dat deze maatregel alleen succes kan hebben als in bepaalde banden weinig „signaal" (zwakke componenten van de muziek of de spraak) aanwezig is (in vergelijking met de door het intreden van disproportie gestelde grens) en veel geruis. In gunstige omstandigheden (orkestmuziek) kan op deze wijze de span met 10 db worden verruimd [9]). Bij spraak echter, althans bij talen met sterke sisklanken, gaat deze methode niet op. Een verder nadeel is dat de weergeefapparatuur, wegens haar bijzondere frequentiekarakteristiek, niet geschikt is voor die fonogrammen waarbij deze methode niet is toegepast.

Compressie en expansie

De discrepantie tussen de span in orkestmuziek (80 db) en de span van de overdrachtapparatuur (50 db) leidt tot de volgende moeilijkheid. Richt men het zo in dat het ruisniveau van de apparatuur samenvalt met het peil van het zaalrumoer (C_1 resp. *A*, *fig. 2*), dan vallen alle pieken in de muziek die tot meer dan 80 db boven het nulniveau reiken, in het gebied van disproportie. Laat men de grens van maximale belasting van de apparatuur samenvallen met het hoogste geluidniveau (D_2 resp. *B*, fig. 2), dan is weliswaar de disproportie verdwenen, maar het ruisniveau (C_2) komt dan zo hoog te liggen dat alle muziek die niet tot 60 db boven het nulniveau reikt, er in verloren gaat.

De algemeen gevolgde uitweg uit deze moeilijkheid bestaat hierin dat men door zg. compressie — bijv. door middel van een met de hand of automatisch bediende potentiometer — de span van de muziek terugbrengt tot 50 db, dwz. de luide passages verzwakt ten opzichte van de zachte [10]). Van radio- en grammofoonmuziek zijn deze verkleinde contrastverschillen aan ieder bekend.

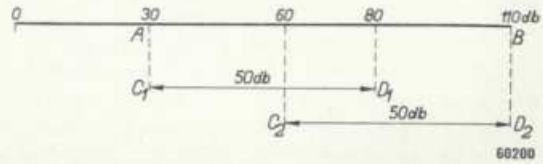


Fig. 2. *A* niveau van het zaalrumoer (30 db), *B* niveau van de hoogste pieken in orkestmuziek (110 db) boven het nulniveau *O* (10^{-12} W/m²). Legt men de 50 db omvattende span van een installatie voor geluidsoverdracht volgens C_1D_1, dan treedt bij alle pieken hoger dan 80 db vervorming op. Legt men de span volgens C_2D_2, dan komt het ruisniveau hoog te liggen (bij 60 db).

Terecht hebben de musici er grote bezwaren tegen dat hun werk aldus wordt behandeld, eigenlijk mishandeld. Hoewel de „gecomprimeerde muziek", mits de compressie is uitgevoerd door een geroutineerde deskundige, nog wel aanvaardbaar kan zijn, is het begrijpelijk dat men is blijven zoeken naar middelen om, zo dan de compressie niet te vermijden is, in de weergave de oorspronkelijke contrasten te herstellen. Deze middelen berusten op het toepassen van expansie, d.i. het versterken van de luide passages ten opzichte van de zachte, zodanig dat de compressie wordt opgeheven. De hiervoor gebruikte expandor kan automatisch werken, bijv. doordat hij reageert op de grootte van het hem toegevoerde signaal [11]).

De keten tussen microfoon en luidspreker komt er nu uit te zien als is aangegeven in *fig. 3*, waarin *A* een complex van versterkers en eventueel een fonogram met registreer- en aftastinrichting voorstelt.

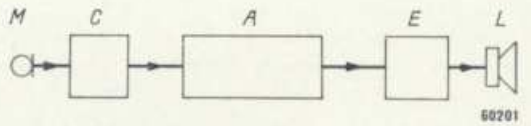


Fig. 3. Schematische voorstelling van een installatie voor geluidsoverdracht. *M* microfoon, *C* compressor, *A* complex van versterkers en eventueel registreer- en weergeefapparatuur, *E* expandor, *L* luidspreker.

[8]) Bij de Philips-Miller-schrijver die voor stereofonische registratie is ontwikkeld (twee sporen op één band) is juist de omgekeerde weg bewandeld: teneinde een vlakkere frequentiekarakteristiek te krijgen, is met een smaller spoor genoegen genomen. De twee stereofonische sporen nemen samen niet meer plaats in dan het oude enkelvoudige spoor.

[9]) J. C. Steinberg, The stereophonic sound-film system; pre- and post-equalization of Compandor systems, J. Soc. Mot. Pict. Engrs. **37**, 366-379, 1941, in het bijzonder blz. 374.

[10]) Zie bijv. R. Vermeulen, De verhouding van fortissimo en pianissimo, Philips techn T. **2**, 266-269, 1937.

[11]) Zie bijv. V. Cohen Henriquez, Compressie en expansie bij geluidsoverdracht, Philips techn. T. **3**, 209-215, 1938.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Van belang is — naar we aanstonds zullen zien — dat de voornaamste ruisbronnen zich in A bevinden, dus tussen de compressor (C) en de expandor (E) in.

Vorm van de compressiekarakteristiek

Wij stellen de behandeling van de vraag of de compressie beter met de hand dan wel automatisch kan geschieden, nog even uit, en nemen voorlopig aan dat de compressie automatisch tot stand komt,

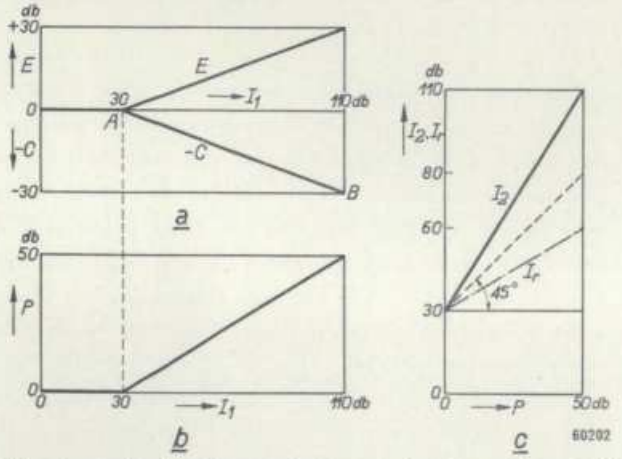


Fig. 4. *a*) Als functie van de intensiteit I_1 van het geluid in de concertzaal zijn uitgezet de compressie C en de expansie E. Ondersteld is dat de compressie lineair toeneemt volgens AB, als I_1 van 30 tot 110 db aangroeit. Om het oorspronkelijke contrast te herstellen, moet $E - C = 0$ zijn. *b*) Amplitude P van een fonogram, gemaakt met de compressiekarakteristiek volgens (*a*), als functie van I_1. *c*) Als functie van P zijn uitgezet: de intensiteit I_2 van de weergave (gestippeld voor het geval dat er geen, getrokken voor het geval dat er wel expansie wordt toegepast), benevens de intensiteit I_r (punt-streep-lijn) van het ruisniveau (*met* expansie).

volgens een vaste betrekking tussen de mate van verzwakking C en de intensiteit I_1 van de oorspronkelijke muziek. In ieder geval staat vast dat de verzwakking, als I_1 toeneemt van 30 tot 110 db, moet oplopen van 0 tot 30 db [12]). In *fig. 4a* liggen dus het beginpunt A en het eindpunt B van de compressiekarakteristiek vast. Hoe men de karakteristiek tussen A en B wil laten verlopen, is tot op zekere hoogte willekeurig. Het eenvoudigste verloop is de rechte lijn AB (fig. 4*a*). De amplitude P van het op het fonogram geregistreerde signaal [13]) krijgt dan, als functie van I_1, de in fig. 4*b* weergegeven gedaante, waarbij de span van 80 db in I_1 is teruggebracht tot een span van 50 db in P. Wordt bij het afspelen geen expansie toegepast, dan heeft de intensiteit I_2 van de gereproduceerde muziek, als functie van P, het verloop volgens de stippellijn in fig. 4*c*, met dezelfde span (50 db) als P. Door expansie toe te passen, kan men I_2 een even grote span als I_1 geven (getrokken lijn in fig. 4*c*); de expansiekarakteristiek $E = f(I_1)$, fig. 4*a*, moet daartoe het spiegelbeeld zijn van de compressiekarakteristiek ($E - C = 0$ voor iedere waarde van I_1).

Zoals al werd opgemerkt, bevinden de voornaamste geruisbronnen zich tussen de compressor en de expandor (in A, fig. 3). Het ruisniveau I_r van de weergave volgt dus de bewegingen van de expandor (zie punt-streep-lijn in fig. 4*c*), en daar deze de bewegingen van de compressor moet volgen (teneinde de spiegelbeeldbetrekking tussen beide karakteristieken, $E-C=0$, te handhaven), varieert het geruis in de weergave dus met de sterkte van de muziek. Dit is zeer onaangenaam; een variërend geruis trekt namelijk veel meer de aandacht — ondanks de maskerende werking van de in sterkte mee-variërende muziek — dan een constant geruis, waarvan men zich, zelfs als het vrij sterk is, nog wel kan abstraheren. Vandaar dat de vraag rijst of de in fig. 4*a* weergegeven compressiekarakteristiek wel de gunstigste is. Volgens deze karakteristiek wordt immers al compressie toegepast (waardoor het ruisen sterker wordt) zodra I_1 boven het niveau van 30 db uit komt en er in het geheel nog geen gevaar van overbelasting (disproportie) bestaat. Het ligt dan ook voor de hand dat het gunstiger zal zijn, de compressie pas te

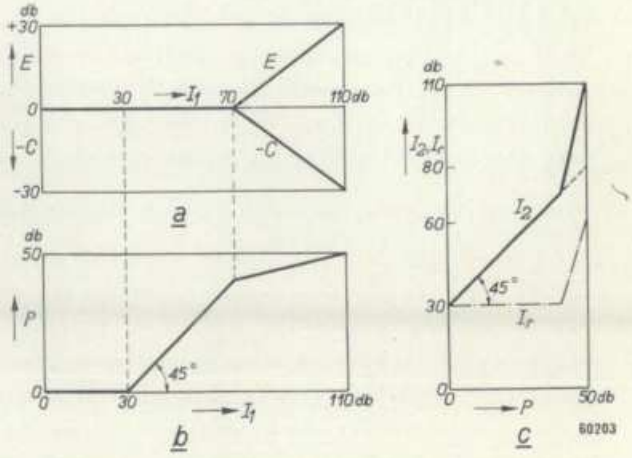


Fig. 5. Als fig. 4, doch met een compressiekarakteristiek die pas bij $I_1 = 70$ db inzet.

laten inzetten bij een hoger niveau van I_1, en wel zo hoog dat het geruis volkomen door de muziek wordt gemaskeerd, bijv. bij 70 db, zoals is aangegeven in *fig. 5a*. Het bijbehorende verloop van

[12]) Deze waarde van 30 db is in overeenstemming met wat H. Fletcher opgeeft voor film met een in breedte gemoduleerd, langs fotografische weg verkregen geluidspoor (J. Soc. Mot. Pict. Engrs. **37**, 331-352, 1941, in het bijzonder blz. 338). — Aan dit artikel van Fletcher zijn enkele van de hieronder ontwikkelde denkbeelden ontleend.

[13]) Wordt er geen fonogram gemaakt, zoals bij het gelijktijdig elders reproduceren van muziek, dan kan men onder P verstaan het signaal aan de ingang van de expandor.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

de karakteristiek $P = f(I_1)$ en $I_2 = f(P)$ (fig. 5*b* en *c*) zal zonder toelichting duidelijk zijn. Men ziet in fig. 5*c* dat nu over een groot gebied van P het ruisniveau constant is.

Kan men in deze richting nog verder gaan? Compressie is niet nodig zolang er nog geen disproportie dreigt op te treden; men hoeft er dus eigenlijk pas toe over te gaan als P de grens van overbelasting bereikt, d.i. 50 db, corresponderend met I_1 = 80 db boven het nulniveau. De karakteristieken nemen dan de vorm aan als is weergegeven in *fig. 6a, b* en *c*. Hierbij treedt echter een

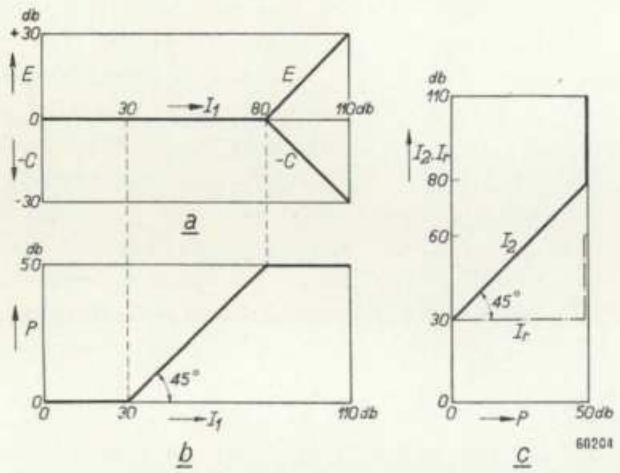


Fig. 6. Als fig. 4, doch hier begint de compressie pas bij I_1 = 80 db, dus bij het niveau waarop zonder compressie disproportie zou optreden. Bij grotere waarden van I_1 bestaat geen ondubbelzinnige betrekking meer tussen I_2 en I_r enerzijds en I_1 anderzijds.

moeilijkheid op: I_2 is nu, in het verticale gedeelte van de karakteristiek in fig. 6*c*, geen eenwaardige functie meer van P; met andere woorden: de expandor kan hier niet — wat in de gevallen van fig. 4 en 5 wèl het geval was — zelf uit de grootte van het hem toegevoerde signaal P afleiden hoe groot de expansie moet zijn. Een oplossing van deze moeilijkheid zullen wij straks aangeven.

Automatische of met de hand geregelde compressie?

Zo eenvoudig als het hierboven werd voorgesteld, kan de betrekking tussen de compressie en het peil van de muziek onmogelijk zijn. Een betrekking tussen ogenblikswaarden, zoals ruwweg werd ondersteld, is wel te verwezenlijken, maar zou tot eigenaardige en ongewenste effecten voeren, daar ze in wezen een sterke disproportie zou betekenen.

Een op ogenblikswaarden betrekking hebbende compressiekarakteristiek kan bijv. worden gerealiseerd door de microfoonspanning toe te voeren aan het stuurrooster van een penthode die een karakteristiek heeft van de gedaante $i_a = c_1 v_g^n$ (i_a = anodestroom, v_g = stuurroosterspanning, c_1 een constante, n een getal tussen 0 en 1). De hierbij klaarblijkelijk optredende disproportie kan — althans in theorie — worden opgeheven door bij de expansie gebruik te maken van een buis met een karakteristiek volgens $i_a = c_2 v_g^{1/n}$ (waarin c_2 weer een constante is). Daarvoor is het echter noodzakelijk dat de grootheden n in de beide exponenten nauwkeurig dezelfde waarde hebben. Al even moeilijk is te voldoen aan een tweede eis, die behelst dat er op de weg van de compressor naar de expandor geen fazeverschuivingen tussen de componenten van het signaal optreden. In de practijk zou het resultaat van zulk een inrichting zijn dat men niet alleen tijdens de sterkste passages vervorming te horen zou krijgen (zoals bij het achterwege laten van compressie), maar dat dit bijna voortdurend het geval zou zijn.

Om deze disproportie te vermijden, moet men de variaties in de compressie zó langzaam laten geschieden dat voor de geluidstrillingen de toestand telkens quasi-stationnair is. Het is echter de vraag of de compressor zijn taak dan nog wel naar behoren kan vervullen. Deze taak is, naar we zagen, enerzijds het voorkomen van overbelasting, anderzijds het voorkomen van een te hoog ruisniveau. Als echter de compressie de sterkte van de muziek slechts vertraagd mag volgen, dreigt bij een plotselinge inzet van een fortissimo tòch tijdelijk overbelasting op te treden, en evenzo dreigt bij een plotseling zwijgen van de instrumenten de muziek te worden gevolgd door een „staart" van geruis. Weliswaar zal in dit laatste geval de nagalm het geluid in de zaal langzaam doen wegsterven en dus, indien de vertragingstijd van de compressor niet langer is dan de nagalmtijd, het geruis min of meer maskeren, maar niettemin kan geruis van wisselende sterkte, zoals we opmerkten, vrij hinderlijk zijn. Als zeer onaangenaam moet echter worden gekwalificeerd de vervorming die bij de plotselinge inzet van een luide passage optreedt.

Er zijn verscheidene methoden voorgesteld om deze vervorming bij een automatisch werkende compressor te vermijden. In de eerste plaats kan men de compressor laten ingrijpen op een iets lager peil dan dat waarbij disproportie intreedt, bijv. zoals in fig. 5*a* is aangegeven. Er blijft dan enige ruimte over voor de eerste pieken van een plotseling fortissimo; deze marge, die ongeveer 6 db zal moeten bedragen, gaat echter ten koste van de span van het fonogram, daar ze normaal niet kan worden gebruikt.

Andere voorstellen berusten hierop dat de automatische compressor reeds in werking komt nog vóórdat de eerste piek van het fortissimo het registreertoestel bereikt. Men heeft aan dit denkbeeld wel uitvoering gegeven door tussen het orkest en de microfoon een hulpmicrofoon te plaatsen, die het geluid dus eerder opvangt en de compressor in werking kan hebben gesteld alvorens

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Fig. 7. De „muziekloods" aan het werk. Aan de hand van de partituur bedient hij de compressor. Door middel van de andere knoppen die men op de foto ziet, kunnen de signalen van de in de concertzaal opgestelde microfoons in de juiste verhouding worden gemengd.

de hoofdmicrofoon hetzelfde geluid opvangt. Deze oplossing heeft echter het bezwaar dat zij aan de keuze van de microfoonopstelling grote beperkingen oplegt. Bovendien is het tijdsverschil dat op deze wijze (of anders, bijv. met een vertragend netwerk tussen de compressor en het registreertoestel) kan worden verkregen, hoogstens van de orde van enkele milliseconden. De compressor zal dan toch, om disproportie in de pieken daadwerkelijk uit te sluiten, met zo weinig traagheid moeten werken dat er zich geen quasi-stationnaire toestand kan instellen en disproportie bij lagere niveaus dus niet geheel wordt vermeden.

Een derde, bij automatisch werkende compressoren veelal toegepaste, methode bestaat hierin dat de compressor, zo snel als om andere redenen mogelijk is, reageert op stijging van het geluidniveau, doch daling ervan slechts langzaam volgt. Weliswaar veroorzaken dan de eerste pieken van een fortissimo overbelasting, doch dank zij het snelle ingrijpen van de compressie duurt deze vervorming slechts kort. Ook een eventueel onvoldoende restauratie door de, eveneens snel werkende, expandor is tot een korte tijd beperkt. De vertraging waarmee de compressor bij dit systeem reageert op een plotselinge daling van het niveau, dient zodanig te worden gekozen dat de genoemde „geruisstaarten" zo weinig mogelijk hinderlijk zijn. Aldus kan een compromis worden gevonden waarbij een niet al te critisch oor de kortdurende vervorming en het wisselende geruis nauwelijks opmerkt.

Onzes inziens schiet men echter met een dergelijke automatisering het doel voorbij en verdient een met de hand — maar dan een bekwame hand! — geregelde compressor verre de voorkeur. Geen mechanisme immers bezit de gave der prognose, die toch onontbeerlijk is om vóór het optreden van een piek tijdig, en bovendien op de juiste wijze, in te grijpen. Alleen een muzikaal mens, vooral als hij een partituur voor zich heeft, beschikt over de voorkennis die, tezamen met een dosis routine, noodzakelijk is om de versterking vóór een fortissimo geleidelijk en tijdig te verminderen en, bij het afbreken van een luide passage, op de juiste wijze te vergroten. Om tot een ideale oplossing te komen, zijn smaak en verstand onmisbare factoren [14]).

In verreweg de meeste gevallen wordt inderdaad de compressie met de hand geregeld (*fig.* 7). Bij het luisteren naar radio-, grammofoon- of filmmuziek kan ieder constateren dat het resultaat zeer bevredigend is, mits slechts de bediening door een kundige hand geschiedt.

---

[14]) De aanstonds te vermelden experimenten zijn mogelijk geweest door de toegewijde en bekwame medewerking van de heer M. J. C. van der Meulen (Afd. Electro-Acoustiek, Eindhoven).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Het „Expressor"-systeem

Heeft men eenmaal besloten tot het met de hand regelen van de compressor, dan is er geen sprake meer van een ondubbelzinnige betrekking tussen de mate van compressie en het niveau van de oorspronkelijke muziek zoals wij dit in fig. 4*a*, 5*a*, en 6*a* hebben ondersteld; de inzichten en de bedrevenheid van degene die de compressor bedient, zullen hier telkens een woordje meespreken. Anders gezegd: de grootheid P van het fonogram is geen eenwaardige functie meer van het geluidspeil I_1. Wil men nu expansie toepassen, dan treedt een soortgelijke moeilijkheid op als we zijn tegengekomen bij fig. 6*c*, waarin I_2 niet overal meer een eenwaardige functie is van P — wat eveneens zijn oorsprong hierin vindt dat I_1 niet overal een eenwaardige functie van P is, zie fig. 6*b*. Deze moeilijkheid bestond hierin, dat, zodra deze ondubbelzinnige betrekkingen zijn verbroken, de expandor uit het signaal P niet meer kan afleiden hoe het niveau I_1 was (en hoe het niveau I_2 dus behoort te zijn). Een oplossing van deze moeilijkheid is de volgende: men kan, langs een afzonderlijk transmissiekanaal, aan de expandor meedelen hoe op ieder ogenblik de stand van de compressor is, en hem zodanig inrichten dat hij de compressie voortdurend compenseert. In meer technische bewoordingen: de compressiepotentiometer moet, door tussenkomst van een stuursignaal, de expansiepotentiometer zodanig besturen dat steeds blijft gelden: $E - C = 0$.

Aan dit systeem hebben wij de naam „Expressor" gegeven, welke is samengesteld uit delen van de woorden *expandor* en com*pressor*, en tevens de vergroting van de expressiemogelijkheden tot uitdrukking brengt die met dit systeem in de weergegeven muziek kan worden verkregen.

Als men aan de compressieknop van een „Expressor"-installatie draait terwijl men naar de contrôleluidspreker luistert, zal men bemerken dat het verstellen van de knop generlei invloed heeft op de muziek zelf, behalve dat eventueel disproportie gaat optreden of verdwijnt, en dat overigens alleen het ruispeil verandert. Op de niveaumeter van het regelpaneel ziet men echter dat het uitgangssignaal van de compressor wel degelijk verandert. De uitslag van deze meter geeft een aanduiding tot hoever de compressie mag worden geregeld.

Voor de bediening van de „Expressor" kan men zich op tweeërlei standpunt stellen. Het eenvoudigst is, zich van de expansie niets aan te trekken en het signaal op de gewone wijze tussen geruis en vervorming door te loodsen. Bij weergave zonder expansie is dan het resultaat een dynamiek als die van radio- en grammofoonmuziek; met expansie kunnen de oorspronkelijke dynamische schakeringen geheel worden herkregen. Doch op deze wijze wordt de „Expressor" nog niet ten volle uitgebuit. Dit is pas het geval als voortdurend het ruisniveau zo laag mogelijk wordt gehouden. dwz. de installatie steeds tot vlak bij de grens van disproportie wordt belast (bij het maken van een fonogram betekent dit dat het geluidspoor doorlopend zo diep mogelijk wordt gemoduleerd). Dit vergt meer van de „muziekloods", die de compressor bedient, dan de eerstgenoemde methode: de loods moet nu gestadig op zijn hoede zijn en kan een partituur en zelfs een repetitie nauwelijks ontberen, teneinde voor ieder crescendo tijdig zijn maatregelen te kunnen nemen. Daar staat als beloning tegenover dat een weergave wordt verkregen die de toehoorder nog slechts bij uitzondering herinnert aan het mechanische element dat er bij in het spel is. Treffend is vooral de afwezigheid van geruis tijdens de rusten en de pianissimi. Alleen in de sterke passages kan men, bij voldoende concentratie, enig bijgeluid ontdekken. Dit is geheel in tegenstelling tot wat men bij muziekreproductie gewend is, en betekent in onze oren een belangrijke verbetering.

Men zou uit veiligheidsoogpunt aan de „Expressor" een automatische hulpcompressor kunnen toevoegen, die alleen in werking komt als er overbelasting dreigt op te treden. Dit lijkt een verstandige maatregel, doch wij hebben er van afgezien omdat wij vreesden dat de muziekloods er te veel op zou gaan vertrouwen en zijn werk zou doen met minder concentratie. Het is gebleken dat voor een toegewijde loods deze maatregel geheel overbodig is.

Technische uitvoering

Nu rest nog de bespreking van de methode die werd gekozen voor de besturing van de expandor door de compressor.

De muziekloods bedient een potentiometer, die de mate van compressie bepaalt. De expandor bestaat uit een potentiometer die bij iedere verandering van de compressie automatisch een overeenkomstig bedrag in tegengestelde zin moet worden bewogen. (Bij stereofonische overdracht zijn natuurlijk twee compressie- en twee expansiepotentiometers nodig.) Het vraagstuk hoe deze koppeling (in ruimte en tijd!) tussen de compressie- en de expansiepotentiometer(s) tot stand kan worden gebracht, is voor verscheidene oplossingen vatbaar. Hier volgt een korte beschrijving van een impulssysteem, dat wij met goed gevolg

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

hebben toegepast bij de in 1947 gedane proeven in het Concertgebouw te Amsterdam [15]).

Bij stereofonische overdracht moet door middel van één knop (de knop *G* in fig. 1 van het zoëven aangehaalde artikel) de compressie in de twee kanalen op volmaakt gelijke wijze worden geregeld, dit laatste om te voorkomen dat bij iedere verandering van de compressie het stereofonische geluidsbeeld zich zou verplaatsen. Men dient dus potentiometers van zeer goede kwaliteit te gebruiken. De meest betrouwbare uitvoering van een potentiometer is de in stappen regelbare vorm met van draad gewonden weerstanden. Indien de stappen niet meer dan 1 tot 2 db bedragen, kan het oor niet waarnemen dat in feite de regeling discontinu geschiedt.

De compressiepotentiometers zijn voorzien van een hulpcontact, dat bij iedere stap een stroomimpuls veroorzaakt die langs een stuurkanaal naar de expandors wordt overgebracht. Daar brengt de impuls een electromagnetisch bewogen palinrichting in werking (*fig. 8*), die de expansiepotentiometers in de gewenste richting verstelt. De impulsen behorend bij de ene draairichting van de compressieknop moeten natuurlijk te onderscheiden zijn, of gescheiden gehouden worden, van die der andere draairichting.

Dit kan, bij gelijktijdige weergave, bijv. geschieden door de twee impulsreeksen ieder op een eigen draaggolf te moduleren en deze draaggolven per telefoonlijn of per radio naar de expandor over te brengen. Voor het fonograferen hebben wij er dankbaar gebruik van gemaakt dat er op de normale Philips-Miller-band naast de twee geluidsporen nog plaats is voor twee „stuursporen", in elk waarvan één der impulsreeksen kan worden geregistreerd (*fig. 9*). In *fig. 10* zijn bij *2* de snijinrichtingen („merkers") voor deze twee stuursporen te zien, en bij *6-7* de optische aftastinrichtingen ervan.

De impulsvorm van de stuursignalen heeft het grote voordeel dat de grootte van de versterking in het stuurkanaal er weinig op aankomt en dat stoorspanningen in dit kanaal niet licht fouten zullen veroorzaken. Er behoeft slechts te worden voldaan aan de eis dat de impulsen wèl, doch de stoorspanningen niet groot genoeg zijn om de expansiepotentiometers te verstellen, en dat opeenvolgende impulsen niet in elkaar vloeien.

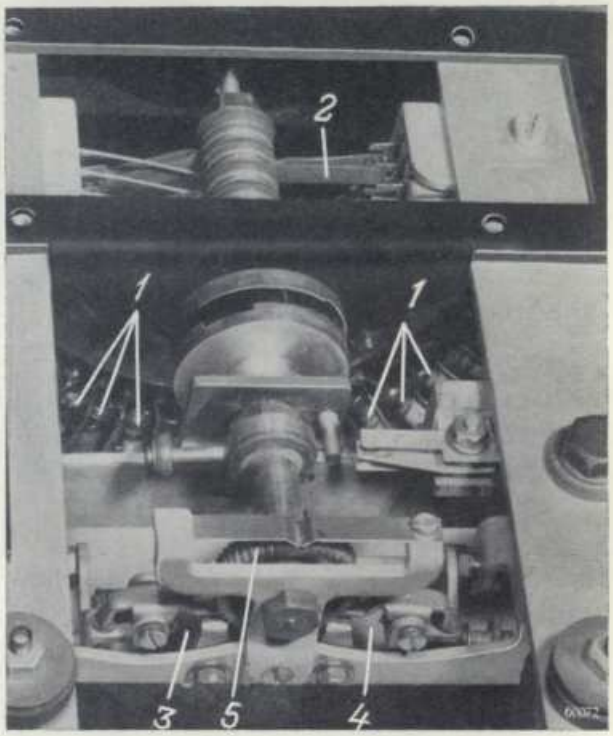


Fig. 8. Mechanisme van de expandor. Bij *1* ziet men enkele van de weerstanden die een potentiometer vormen en die zijn verbonden met een krans van contacten, waarlangs een schakelarm *2* loopt. Deze arm wordt in de ene of in de andere richting gedraaid doordat het anker van de electromagneet *3*, resp. *4*, het tandwiel *5* een of meer stappen verzet.

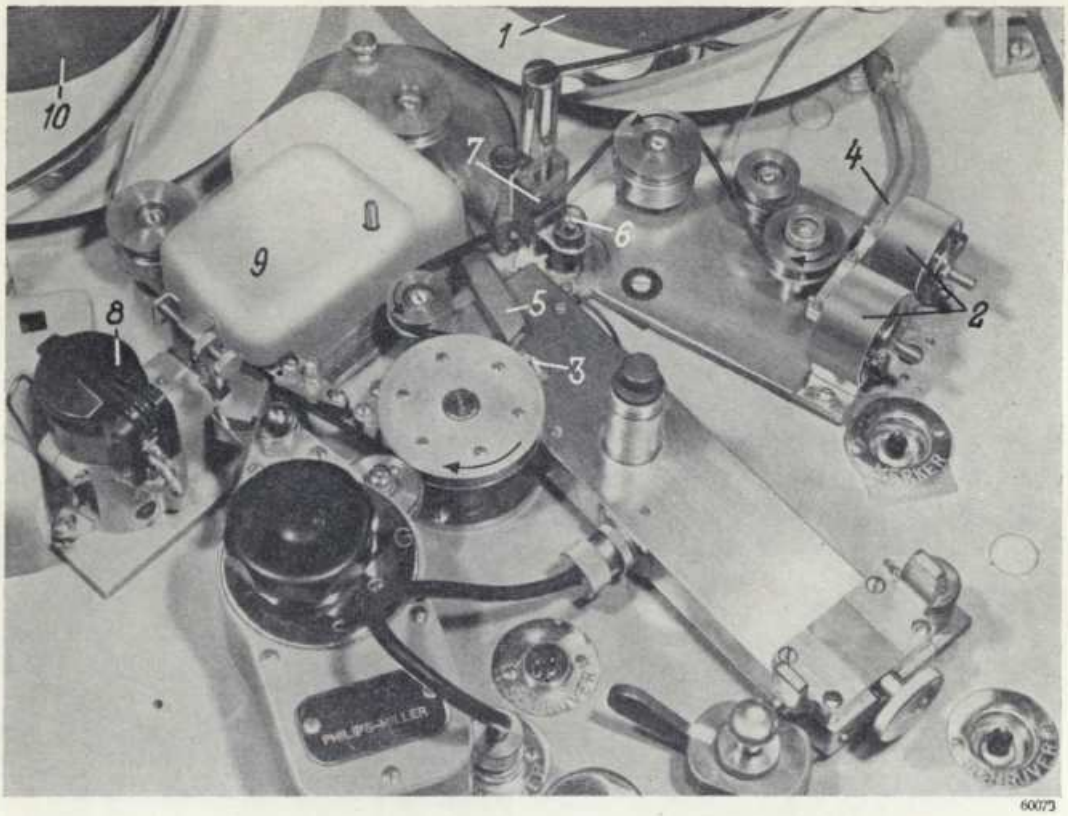
Daar de stappen van de compressie- en de expansiepotentiometers logarithmisch zijn ingedeeld, is het niet noodzakelijk dat beide potentiometers in overeenkomstige standen staan. Toch is dit wel gewenst, daar anders het regelgebied dat zij tezamen bestrijken, kleiner wordt. Om ze gemakkelijk in overeenkomende standen te kunnen brengen,

[15]) R. Vermeulen, Multiplicatie van concerten, Philips techn. T. **10**, 167-175, 1948 (No. 6).

Fig. 9. Afbeelding (op 2× ware grootte) van een stukje Philips-Miller-band met twee stereofonische geluidsporen. Onder deze sporen ziet men merktekens (stuurspoor) die zijn gemaakt doordat de compressiepotentiometer 2× één stap in een bepaalde richting is verzet. Bij het afspelen bewerkstelligen deze merktekens dat de expansiepotentiometer een gelijk aantal stappen in tegengestelde richting wordt gedraaid. Boven de geluidsporen kunnen soortgelijke merktekens worden aangebracht voor de beweging van de expandor in de andere richting.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



6007/3

Fig. 10. De voornaamste onderdelen van een Philips-Miller-machine met „Expressor"-systeem. De machine is geschikt zowel voor het registreren als voor het weergeven. Bij het registreren is *1* een rol onbeschreven Philips-Miller-band. Deze band passeert de merkers *2*, welke de stuursporen schrijven, die aangeven hoeveel stappen, en in welke richting, de compressor telkens werd verzet. Vervolgens passeert hij de geluidschrijvers, waarvan er op deze foto slechts één (*3*) aanwezig is; de tweede, die bovenop *3* behoort te zijn geplaatst, is ter wille van de duidelijkheid weggenomen. Bij *4* en *5* ziet men een afzuigbuis voor de spaan (het uitgesneden bandmateriaal). Bij *10* wordt de band opgewonden. — Het weergeven kan desgewenst reeds tijdens het registreren geschieden. Daartoe laat men de band, zoals op de foto is te zien, tevens de optische aftastinrichting voor de stuursporen en die voor de geluidsporen passeren. Van de eerstgenoemde aftastinrichting ziet men bij *6* het lampje; de fotocellen (seleniumcellen) bevinden zich bij *7*. Van de aftastinrichting voor het geluid bevinden zich het lampje in *8*, de beide fotocellen in *9*. Opdat de expandor op de juiste ogenblikken worde bediend, moet de lengte van de band tussen *2* en *3* even groot zijn als die tussen *6-7* en *8-9*. — Voor het afspelen van een reeds eerder gemaakt fonogram behoeft de band uiteraard slechts langs *6-7* en *8-9* te lopen.

zijn de expansiepotentiometers in de uiterste standen voorzien van een aanslag; men behoeft nu slechts vóór iedere muziekoverdracht de compressorknop even van de ene uiterste stand naar de andere te draaien om de gewenste overeenkomst van standen te verkrijgen.

Samenvatting. Daar bij systemen voor geluidsoverdracht met een brede frequentieband het verschil tussen het niveau waarbij overbelasting intreedt en het ruisniveau kleiner is dan het verschil dat bij orkestmuziek kan optreden tussen de luidste passages en het zaalrumoer, komt men bij het overbrengen van deze soort muziek voor de noodzaak te staan compressie toe te passen, teneinde zowel overbelasting als een te sterk ruisen te vermijden. Bij de weergave kunnen de oorspronkelijke contrastverschillen worden herkregen door tussenkomst van een expansiesysteem. — Betoogd wordt dat een compressie die door een kundige hand wordt geregeld, grote voordelen heeft boven automatisch werkende systemen. Bij niet-automatisch werkende compressieregeling bestaat echter geen ondubbelzinnige betrekking tussen de sterkte van de oorspronkelijke muziek en die van het ingangssignaal van de expandor; er zijn derhalve bijzondere maatregelen nodig om de expandor de compressie op de juiste wijze te doen compenseren. Deze maatregelen bestaan bij het „Expressor"-systeem in het overbrengen van een stuursignaal, dat de potentiometer van de expandor voortdurend die van de compressor doet volgen. Dit stuursignaal wordt langs een afzonderlijk kanaal overgebracht en kan bijv. bestaan uit impulsen. Geschiedt de geluidsoverdracht met Philips-Miller-band als tussenschakel, dan kan het stuursignaal in twee stuursporen (één voor iedere draairichting van de compressor) mede worden geregistreerd.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

FANTOOMPROEVEN MET RÖNTGENSTRALEN

door G. C. E. BURGER.

778.33:621.386.1:
616-073.75:771.534.5

Op een longfoto wil de medicus afwijkingen kunnen opmerken, die aan de grens van de zichtbaarheid liggen. Als hij een bepaald vermoed detail niet ziet, betekent dit dan dat het er niet is, of dat het röntgenbeeld niet in staat was het weer te geven? Om het algemene probleem der waarneembaarheid van details in de röntgentechniek te bestuderen, kan men met vrucht gebruik maken van speciaal geconstrueerde fantomen.

Bij het ontstaan van een röntgenbeeld werkt een groot aantal factoren mede. Behalve de absorptie en de verstrooiïng van de röntgenstralen in het object zijn van invloed de eigenschappen van de fotografische film, of, in het geval van doorlichting, die van het fluorescentiescherm, en bovendien nog die van het optische systeem (camera), indien aanwezig.

De kwaliteit van het beeld kan beoordeeld worden naar zijn twee voornaamste kenmerken, nl. de scherpte en het contrast van de details. Dit contrast is gedefinieerd door de verhouding der helderheden van detail en achtergrond. Een klein detail wordt eerder zichtbaar wanneer het zich duidelijk tegen de achtergrond aftekenen kan, dus wanneer het contrast groot is, dan wanneer dit niet het geval is. De detailscherpte hangt af van de gebruikte röntgenbuis (afmetingen van het focus), en, voor een groot gedeelte, van de korrelfijnheid van de fotografische film of het fluorescentiescherm. Het contrast wordt vooral bepaald door de physische eigenschappen van het object zelf, door de spanning op de röntgenbuis en door de gradatie van de film.

De aandacht zal in dit artikel speciaal gericht zijn op de medische röntgenologie en wel in het bijzonder op het longonderzoek. In de practijk van het röntgenologisch longonderzoek maakt men van verscheidene methoden gebruik. De voornaamste hiervan zijn wel:

1) röntgen-contactmethode, waarbij de röntgenstralen, na het object gepasseerd te zijn, direct op de film vallen, die al of niet van één of twee versterkerschermen is voorzien;
2) röntgendoorlichting; hierbij vallen de röntgenstralen op een fluorescentiescherm, het beeld wordt dan met het oog waargenomen;
3) röntgen-cameramethode; nu is achter het fluorescentiescherm een camera opgesteld, die het schermbeeld sterk verkleind op een film fotografeert.

Bij alle drie de methoden kan dan nog vergroting worden toegepast, door het object op enige afstand vóór het scherm of de film op te stellen.

Een vergelijking tussen deze methoden en tussen de verschillende practische uitvoeringen van eenzelfde methode is, door het reeds genoemde grote aantal factoren dat bij het ontstaan van het röntgenbeeld medewerkt, moeilijk kwantitatief te bewerkstelligen. Met de invoering van het fantoom in de röntgentechniek werd een grote stap gedaan op weg naar een objectieve contrôle. In dit artikel zal worden beschreven hoe men met behulp van fantomen er in slagen kan de vergelijking tussen de verschillende methoden op kwantitatieve basis te schoeien.

Beschrijving van een fantoom. Het contrast-detail-diagram

In de eenvoudigste uitvoering bestaat een fantoom uit een plaat van het een of andere materiaal, waarvan de dikte op bekende wijze varieert. Maakt men een röntgenopname van deze plaat, dan kan men uit de helderheidsverschillen van het beeld de eigenschappen van de gebruikte methode enigszins aflezen. Proeven met zulk een fantoom zijn o.a. gedaan door Bronkhorst [1]) en Luft [2]).

Een verband tussen de waarneembaarheid enerzijds en contrast en detailscherpte anderzijds is met zulk een fantoom echter niet te bepalen, daar het geen kleine details bezit. Fantomen voorzien van kleine details zijn reeds in dit tijdschrift [3]) [4]) ter sprake gekomen. Hier volgt een beschrijving van het fantoom dat voor het hier behandelde onderzoek is toegepast en dat in principe overeenkomt met hetgeen in het aangehaalde artikel [4]) werd gebruikt.

---

[1]) W. Bronkhorst, Kontrast und Schärfe im Röntgenbild, uitg. Thieme, Leipzig 1927.

[2]) F. Luft, Experimentelle Beiträge zur Detailerkennbarkeit und Detaildarstellbarkeit bei verschiedener Aufnahmetechnik, Fortschr. Röntgenstrahlen **51**, 412-417, 1935.

[3]) B. van Dijk, Enige problemen bij de röntgendoorlichting, Philips techn. T. **4**, 119-122, 1939.

[4]) G. C. E. Burger, B. Combée en J. H. van der Tuuk, Röntgendoorlichting met vergroot beeld, Philips techn. T. **8**, 321-329, 1946.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Het bestaat uit een aantal „Philite" platen. Een van deze platen dient als objectplaat (*fig. 1*). Hierin zijn 225 gaten geboord. De gaten in iedere horizontale rij hebben dezelfde diameter maar variëren in diepte tussen 8 mm en 1 mm, in 15 stappen van 0,5 mm; de gaten in iedere verticale rij hebben dezelfde diepte maar variëren in diameter, eveneens van 8 tot 1 mm, in stappen van 0,5 mm. Deze gaten dienen nu als details welker zichtbaarheid in het röntgenbeeld wordt onderzocht. De andere „Philite" platen kunnen naar believen in of uit het fantoom worden genomen, om zodoende de dikte van de thorax na te bootsen. Het gaat er hier immers om, gegevens te verkrijgen over de methoden in gebruik bij de longdiagnostiek. *Fig. 2* geeft het constructieschema van het fantoom. Om zo goed mogelijk te kunnen vergelijken met een werkelijke longopname, kan het fantoom geplaatst worden in een toestel volgens *fig. 3*, waarmede de bewegingen kunnen worden nagebootst, die het gevolg zijn van de hartslag van de patient. Het fantoom wordt door een slinger in beweging gebracht; de snelheid kan worden geregeld door de maximale uitwijking te variëren. Een klein loden plaatje dat op het fantoom kan worden bevestigd, maakt het mogelijk de bewegingsonscherpte en daardoor de belichtingstijd exact te meten.

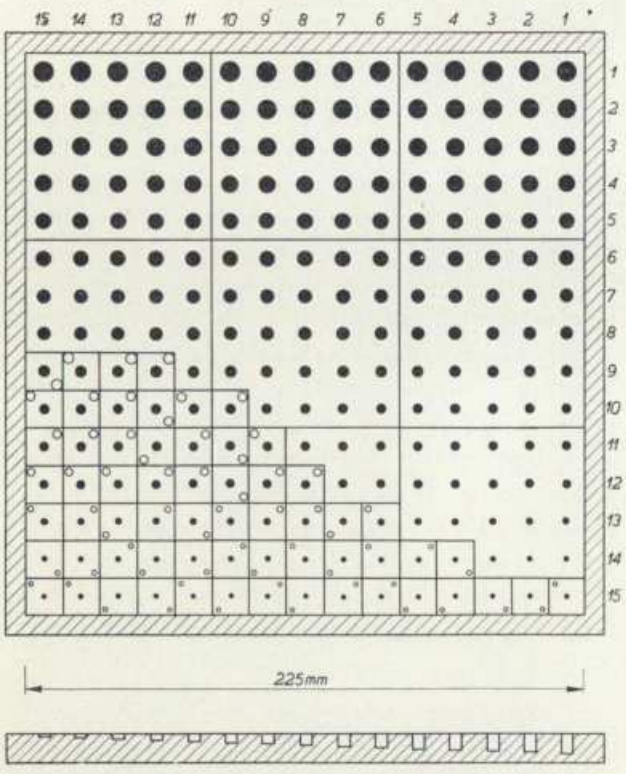


Fig. 1. Objectplaat voor contrast-detail-diagram. De gaatjes in een verticale rij hebben dezelfde diepte, maar variërende diameter; die in een horizontale rij dezelfde diameter maar variërende diepte. In het gebied van de gaatjes van kleine afmetingen zijn extra gaatjes aangebracht, die als open cirkeltjes zijn aangegeven.

Als materiaal voor het fantoom is „Philite" gekozen omdat dit het meest overeenkomt met het longweefsel, wat betreft zijn voor de verzwakking van röntgenstraling bepalende eigenschappen. Het volgende tabelletje geeft een vergelijking tussen enkele van deze eigenschappen voor „Philite" en voor water.

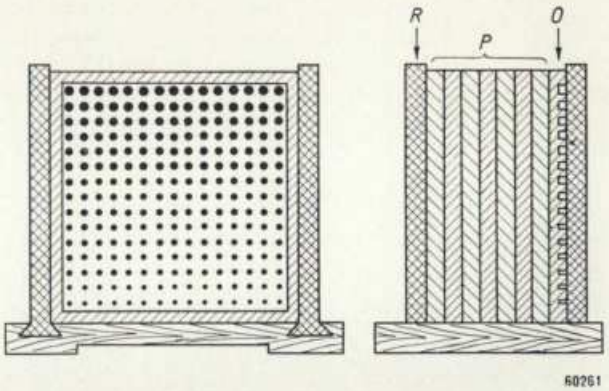


Fig. 2. Constructieschema van het fantoom. Het bevat de objectplaat *O*, en een aantal platen *P* zonder details; alle platen zijn van „Philite". Het raam *R* kan worden verschoven ten einde het aantal platen te kunnen variëren.

	„Philite"	water
Gemiddeld atoomnummer	6,9	6,0
Dichtheid	1,3 g/cm³	1,08 g/cm³
Transmissie bij 100 kV/transmissie bij 50 kV	1,34	1,33
Massa-absorptiecoëfficient	2,3 λ^3 cm²/g	2,6 λ^3 cm²/g
Massa-verstrooiingscoëfficient	0,18 cm²/g	0,19 cm²/g

Wij zien dus dat „Philite" inderdaad goed overeenkomt met het menselijk weefsel, dat voor 70 % uit water bestaat. Bovendien is het een gemakkelijk te bewerken materiaal.

Een röntgen-camera-opname van het fantoom, gemaakt op een 45 mm film met een apparaat voor massa-longonderzoek, is weergegeven in *fig. 4*. Het is vrij eenvoudig hieruit een beoordeling van de invloed van contrast en detailgrootte, afzonderlijk zowel als gecombineerd, op de zichtbaarheid van de details te formuleren.

We onderscheiden op de opname ruwweg twee gebieden. In het eerste gebied zijn alle gaatjes zichtbaar, in het tweede gebied is het onmogelijk enig detail te onderscheiden. De overgang tussen de twee gebieden is niet scherp. Om de grens zo goed mogelijk te kunnen aangeven, is de objectplaat in het gebied van de gaatjes met kleine diepte en kleine diameter voorzien van extra gaatjes (○ in

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

fig. 1). Deze gaatjes hebben precies dezelfde afmetingen als het gaatje dat zich bevindt in het midden van het desbetreffende, op het fantoom met loodglit aangegeven, vierkantje. De plaats van het extra gaatje kan tussen vier mogelijkheden variëren. Om nu uit te maken of een bepaald gaatje zichtbaar is of niet, moet de waarnemer slechts de plaats aangeven waar naar zijn mening het extra gaatje zich bevindt. Zodoende wordt het mogelijk de overgangslijn vrij scherp te bepalen.

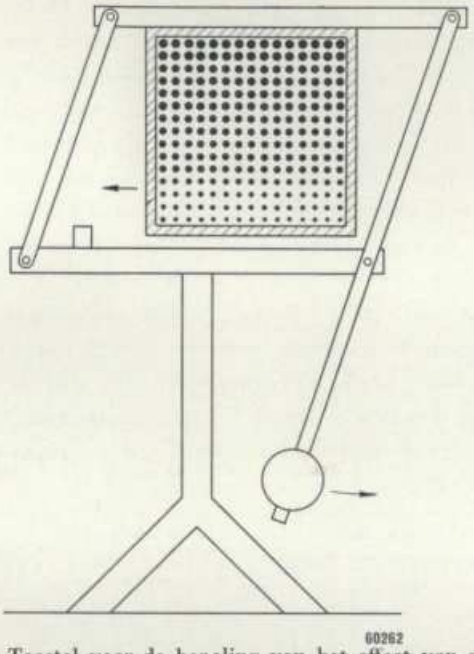


Fig. 3. Toestel voor de bepaling van het effect van een beweging van het fantoom op de scherpte en het contrast van het röntgenbeeld. Het fantoom is opgehangen in een raam dat als scharnierend parallelogram is uitgevoerd. Door een hieraan gekoppelde slinger krijgt het fantoom een vrijwel zuivere translatiebeweging. Een hier niet getekende inrichting zorgt er voor dat de beweging nagenoeg eenparig wordt, terwijl de snelheid er van gemakkelijk kan worden geregeld en afgelezen.

Wij construeren nu een contrast-detail-diagram (*fig. 5*). Langs de ordinaat is uitgezet de diameter *d* der gaatjes, langs de abscis de diepte *h*. De afmetingen der gaatjes die op de opname nog juist te zien zijn, corresponderen met een kromme, de waarnemingskromme, in de figuur. Het diagram stelt als het ware het fantoom zelf voor, de waarnemingskromme komt overeen met de overgangslijn op het fantoom. Deze lijn heeft ongeveer de vorm van een hyperbool; dit betekent: kleine details moeten groot contrast bezitten, en details met een klein contrast moeten grote afmetingen hebben, willen ze worden waargenomen. Trachten we het scheidend vermogen van de gebruikte röntgenmethode te definiëren als de reciproke waarde van het volume van het kleinste zichtbare object (in de vorm van een cylinder), dan blijkt deze grootheid duidelijk van de vorm van de waar te nemen cylinder

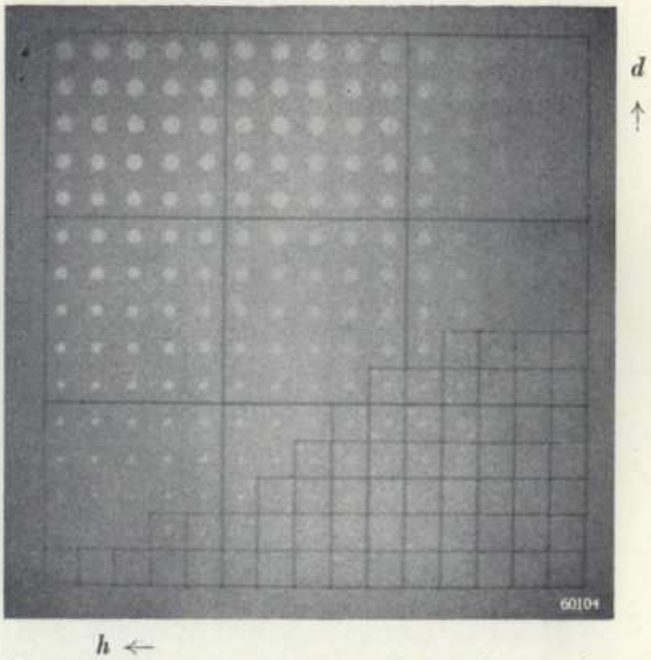


Fig. 4. Röntgen-camera-opname op 45 mm film van het contrast-detail-fantoom. (De reproductie is het spiegelbeeld van fig. 1.)

af te hangen; met andere woorden, de waarnemingskromme is niet een kromme van constant volume (vgl. de gestippelde kromme in fig. 5). Een dunne en relatief lange cylinder is gemakkelijker waarneembaar dan een korte dikke cylinder, zoals te zien is in *fig. 6a*, waar voor verschillende punten van de waarnemingskromme het reciproke volume van het detail is bepaald en uitgezet tegen de diameter van de gaatjes, en in fig. 6*b*, waar het reciproke volume is

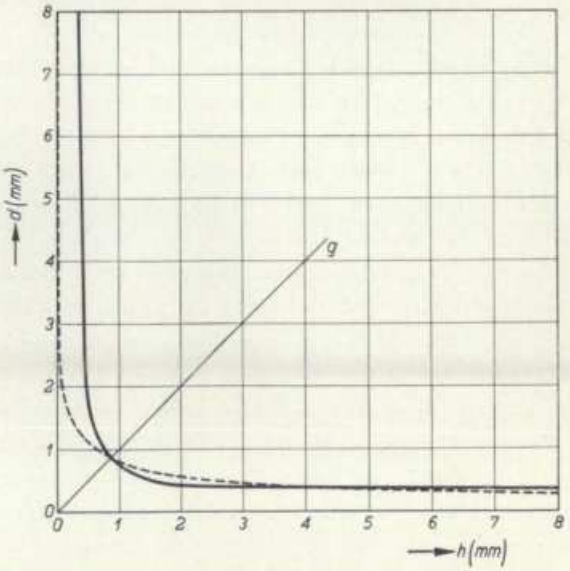


Fig. 5. Contrast-detail-diagram van een röntgen-contactopname. Getrokken: de waarnemingskromme. Gestippeld: een kromme van constant volume; de objecten hierop hebben alle hetzelfde volume als de kleinste zichtbare cylinder waarvan de diameter gelijk is aan de hoogte. De afmetingen van deze cylinder volgen uit de plaats van het snijpunt van de waarnemingskromme met de lijn *g* onder 45° door de oorsprong.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

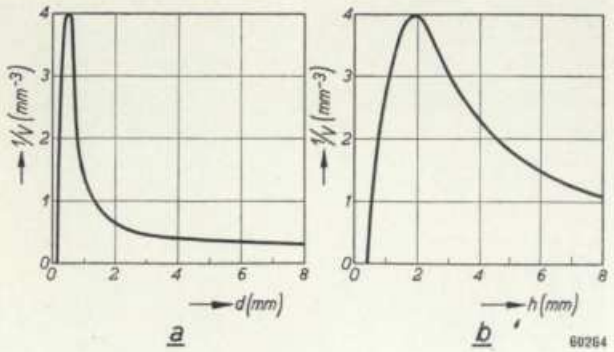


Fig. 6. *a*) Reciprook volume V der juist waarneembare gaatjes volgens de waarnemingskromme van fig. 5, uitgezet als functie van de diameter der gaatjes. *b*) idem, nu uitgezet als functie van de diepte der gaatjes.

uitgezet tegen de diepte van de gaatjes. Voor practische doeleinden van bijzonder belang is een cylinder waarvan de diameter gelijk is aan de hoogte, aangezien die het meest overeenkomt met een bolletje. (Een pas gevormde nodulus in de long is ook ongeveer bolvormig.) De kleinste nog waarneembare cylinder van deze vorm wordt in het contrast-detail-diagram gegeven door het snijpunt van de waarnemingskromme met de rechte lijn (*g*) onder 45° door de oorsprong (fig. 5). De grootte van deze cylinder is ongeveer 2 mm in een röntgen-camera-opname als in fig. 4.

Apperceptie-diagram en het hiervoor gebruikte fantoom

Het blijkt dat de tijd, nodig om een beeld van het bovenbeschreven fantoom te beoordelen, sterk afhangt van de kwaliteit van het röntgenbeeld. Een betere röntgenmethode geeft niet alleen een betere kromme, maar de waarneming van de kromme duurt ook korter. Deze factor komt in het contrast-detail-diagram niet tot uiting.

Bovendien voldoet een beoordeling van een röntgenmethode naar het contrast-detail-diagram in zoverre niet geheel aan de eisen van de practijk, dat men bij de fantoomproef nagaat of men details in het beeld kan onderscheiden op plaatsen waarvan men weet, dat ze er eigenlijk zouden moeten zijn, terwijl het in de practische toepassingen onbekend is waar de gezochte details zullen voorkomen.

Daarom is naar aanleiding van enkele proeven over de invloed van een vergroting van het röntgenbeeld (zie hieronder) een zg. apperceptiefantoom geconstrueerd, dat het mogelijk maakt na te gaan, hoe lang men er over doet een röntgenbeeld op de details te beoordelen, en hoeveel fouten men bij deze beoordeling maakt.

In de objectplaat van het apperceptiefantoom (*fig.* 7) zijn weer een aantal gaatjes aangebracht, maar nu zijn deze niet regelmatig in rijen gerangschikt. De plaat is in drie delen verdeeld; elk deel bestaat uit twintig vierkantjes, welke met behulp van loodglit op de plaat zijn afgetekend. In elk vierkantje is een aantal gaatjes geboord, variërend van twee tot zes. De plaatsen van de gaatjes in een vierkantje zijn onregelmatig verdeeld. In elk deel van twintig vierkantjes hebben alle gaatjes dezelfde afmetingen, en wel bedragen deze voor de drie delen respectievelijk: diameter 2 mm en diepte 5 mm, 3 en 3 mm, en 5 en 2 mm. Deze dimensies zijn zodanig gekozen dat het detail ruim valt binnen de waarnemingsgrens zoals die uit het contrast-detail-diagram voor een apparaat voor röntgen-camera-fotografie werd vastgesteld. De waarnemer telt in een röntgenopname of fluorescentiebeeld van het fantoom het aantal gaatjes in een hokje, en wel zo snel mogelijk. Als het juiste aantal gaatjes in een hokje niet wordt opgegeven, telt dit als een fout. De totale tijd, nodig om de gaatjes in de twintig hokjes van een der drie delen te tellen (welk deel, hangt af van de wensen van de waarnemer) wordt genoteerd [5]). In een diagram, waarin als abscis de tijd en als ordinaat het aantal fouten

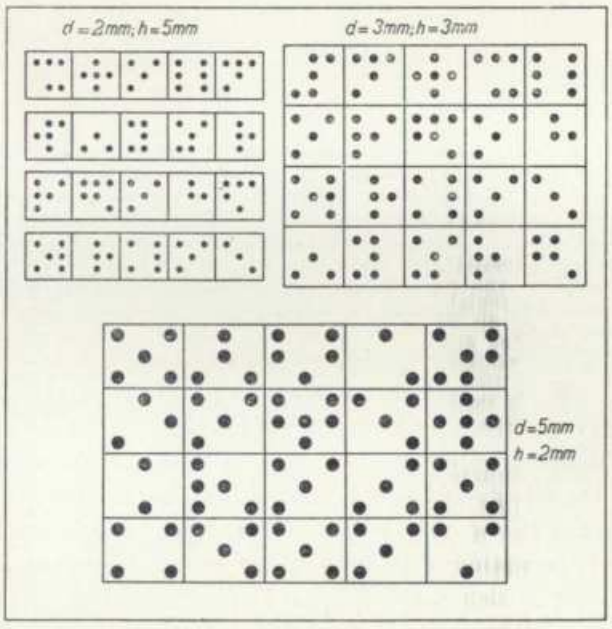


Fig. 7. Objectplaat voor het apperceptie-diagram. Deze bestaat uit drie delen. De gaatjes in elk deel hebben dezelfde afmetingen, nl. diameter 2 mm en diepte 5 mm, resp. 3 en 3 mm, resp. 5 en 2 mm. De gaatjes zijn in groepjes geboord, in elk door middel van loodglit afgetekend vierkantje bevinden zich twee tot zes gaatjes.

[5]) Een dergelijke methode ter beoordeling van de waarneembaarheid van details is ook toegepast bij het opstellen van verlichtingsnormen volgens Weston, zoals in dit tijdschrift werd beschreven door A. A. Kruithof en A. M. Kruithof in het artikel: Grondslagen voor het opstellen van verlichtingsnormen, Philips techn. T. **10**, 176-182, 1948 (No. 6).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

wordt uitgezet, correspondeert een volledige waarneming met een punt. Verschillende röntgenmethoden zullen verschillende punten geven; zo wordt een „apperceptie-diagram" verkregen, waarvan in *fig. 8* een voorbeeld is gegeven.

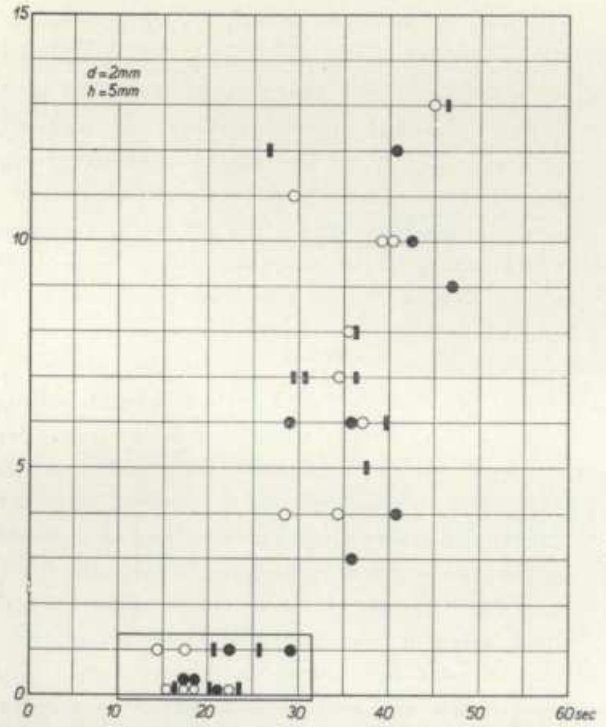


Fig. 8. Voorbeeld van een apperceptie-diagram. Langs de abscis is de waarnemingstijd in seconden uitgezet, langs de ordinaat het aantal fouten dat de waarnemer gemaakt heeft. Elke volledige waarneming levert een punt in het diagram. De op verschillende wijze aangegeven punten slaan op verschillende gebruikte films en verschillende wijzen van waarneming van het met de röntgen-camera-methode verkregen beeld van het apperceptiefantoom (door een loupe, of met behulp van projectie). De op gelijke wijze aangegeven punten slaan op waarnemingen aan films met verschillende zwarting. — Het kader onderaan omsluit alle punten die bij de beoordeling van vergrote opnamen werden verkregen.

Toepassingen van de diagrammen

a) Met behulp van contrast-detail-diagrammen en apperceptie-diagrammen kan nu worden uitgemaakt of bepaalde röntgenmethoden de voorkeur verdienen boven andere. Wegens de reeds vermelde afhankelijkheid van het scheidend vermogen van de vorm van het object, is een beoordeling van een röntgenmethode bijv. naar het kleinst waarneembare bolletje zonder meer niet voldoende. Een beoordeling naar de gedaante van de gehele contrast-detail-curve is veel vollediger. Hoe meer deze kromme zich bij de coördinaatassen aansluit, hoe beter de desbetreffende röntgenmethode voldoet. Door de schrijver zijn in elf Scandinavische instituten contrast-detail-diagrammen gemaakt met behulp van de twaalf daar gebruikte apparaten voor röntgen-camera-fotografie. Het fantoom werd direct voor het scherm geplaatst (behalve in een geval, no. 11, waar een vergroot beeld werd gemaakt); als camera werden zowel spiegel- als lenscamera's gebruikt. In *fig. 9* zijn de twaalf contrast-detail-diagrammen voor opnamen met een belichtingstijd overeenkomend met ongeveer 18 cm thoraxdiameter voorgesteld. De conclusie kan luiden dat er een aanzienlijk verschil in prestatie bestaat tussen de gebruikte apparaten. Hoewel zulk een verschil ook wel enigszins aangeduid wordt door de afmetingen van de kleinste waarneembare cylinder met gelijke diepte en diameter (zie de snijpunten van de krommen met de lijn *g*), is het duidelijk dat de vorm van de krommen een veel beter onderscheidingskenmerk oplevert.

b) De geschiktheid van medici en technici voor doorlichtingsonderzoek hangt af van hun vermogen tot het waarnemen van kleine details. Men kan dit

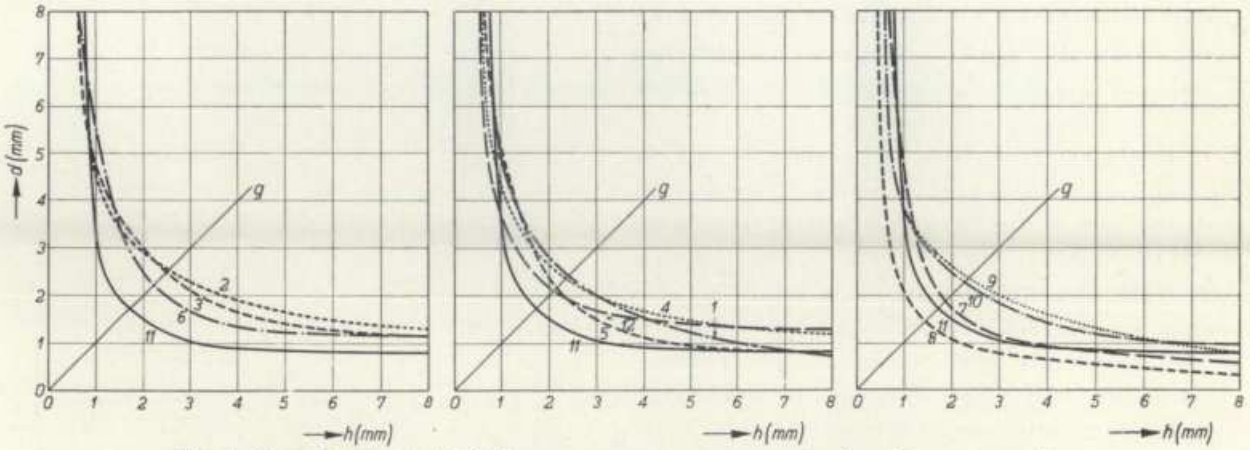


Fig. 9. Twaalf contrast-detail-diagrammen, opgenomen om de eigenschappen van de röntgeninstallaties in elf Scandinavische instituten te vergelijken. De afmetingen van de kleinste waarneembare cylinder met hoogte gelijk aan diameter (snijpunten van de krommen met lijn *g*) geven al een beeld van de verschillen die tussen de twaalf methoden bestaan; de vorm der waarnemingskrommen in hun geheel doet deze verschillen echter veel duidelijker uitkomen. (Voor een gemakkelijker vergelijking is de kromme voor methode no. 11 in alle drie deelfiguren opgenomen.)

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

vermogen beoordelen door van een beeld van het fantoom op het doorlichtingsscherm door de desbetreffende personen een contrast-detail-diagram te laten maken. Men zal bemerken dat er uitgesproken verschillen bestaan tussen de resultaten van de verschillende waarnemers (zie *fig. 10*). Op deze manier is het mogelijk de beste waarnemers te selecteren.

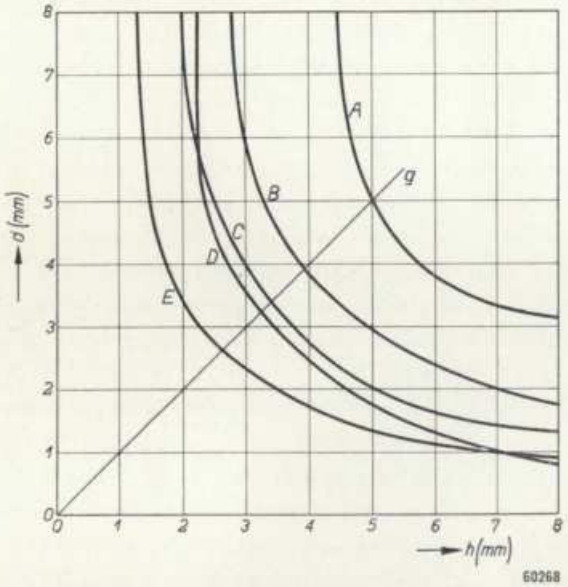


Fig. 10. Contrast-detail-diagrammen, door vijf verschillende waarnemers *A-E* gemaakt van een fluorescentiebeeld van het contrast-detail-fantoom. Er bestaan aanzienlijke verschillen tussen de resultaten der vijf waarnemers.

c) Voor de beoordeling van de verbetering die bereikt kan worden door röntgenonderzoek met een vergroot beeld, is het nodig behalve het contrast-detail-diagram ook het apperceptie-diagram te hulp te roepen, daar in dit diagram het verschil tussen vergroot en normaal beeld het best tot uiting komt. (Het onderzoek naar deze verbetering is dan ook aanleiding geweest tot het ontwerpen van het apperceptiefantoom.)

Een vergroot beeld ontstaat wanneer we het object op grotere afstand dan normaal van de fotografische film of het scherm plaatsen (gewoonlijk wordt het object zo dicht mogelijk bij film of scherm opgesteld). De voordelen die door vergroting verkregen worden, zijn (zie [4])):

1) De onscherpte ten gevolge van de korrelige structuur van plaat of scherm (versterkingsscherm) wordt van minder belang.
2) Het contrast wordt groter, doordat een groter gedeelte van de verstrooide röntgenstralen het scherm niet bereikt.

Aan vergroting zijn echter ook nadelen verbonden:

1) De geometrische onscherpte wordt groter.
2) Bij het doorlichten is het gewenst dat de arts de patient een weinig heen en weer kan bewegen, daar dit de ontdekking van afwijkingen vergemakkelijkt. In geval van een grote afstand van de patient tot het scherm is dit niet meer zo goed mogelijk.

Teneinde de invloed van een vergroting van het beeld na te gaan, werd met behulp van de röntgencamera-methode een aantal opnamen van beide fantomen gemaakt, zowel normaal als met een vergroting van 2,8 ×. Het fluorescentiebeeld werd gefotografeerd op een film van 45 mm breedte met verschillende condities van belichting (verschillende zwarting). De opnamen werden op drie manieren bekeken: door een loupe met vergroting 1,8 ×, na projectie op een wit, fijnkorrelig, scherm tot een beeld van 15 × 15 cm, en na projectie tot een beeld van 35 × 35 cm. Van de verkregen beelden werden contrast-detail-diagrammen resp. apperceptie-diagrammen gemaakt. Uit beide soorten diagrammen is duidelijk op te maken, dat door vergroten een aanzienlijke verbetering van de beeldkwaliteit kan worden verkregen. Dit is duidelijk te zien in fig. 8 en *fig. 11*. In de eerste figuur heeft de omlijste groep meetpunten, die zonder uitzondering bij kleine aantallen fouten en relatief korte waarnemingstijden zijn gelegen, betrekking op vergrote opnamen. De waarnemingscurve in fig. 11, behorend bij een vergroot beeld, toont eveneens een gunstiger verloop dan die behorend bij het normale beeld. In onderstaande *tabel* wordt de verbetering die door vergroting verkregen is, in getallen uitgedrukt. Het blijkt dat met de door de vergroting bewerkstelligde

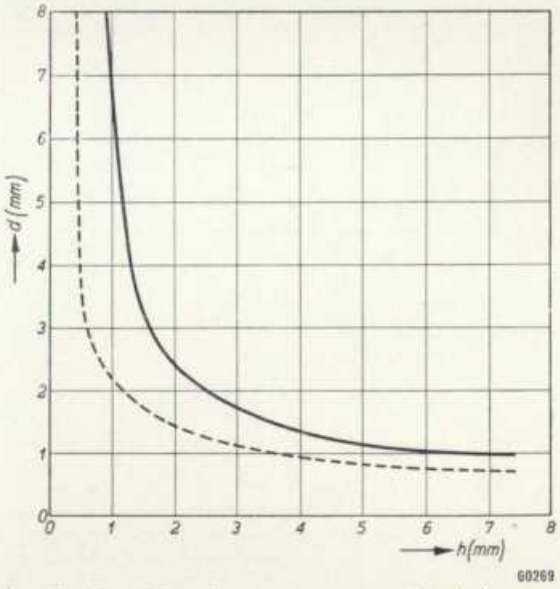


Fig. 11. Getrokken kromme: contrast-detail-diagram voor doorlichten met normaal beeld. Gestippelde kromme: idem met vergroot beeld.

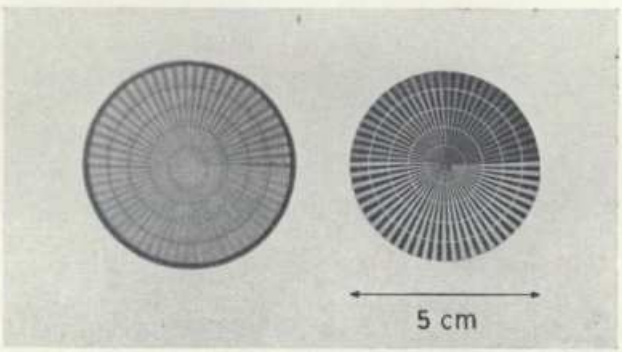
Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Beeld	kleinste zichtbare detail	$d=5$ mm, $h=2$ mm		$d=2$ mm, $h=5$ mm	
		waarn. tijd	fouten	waarn. tijd	fouten
normaal	2,0 mm	49 sec	5,5	44 sec	7
vergroot	1,5	28	1	19	1

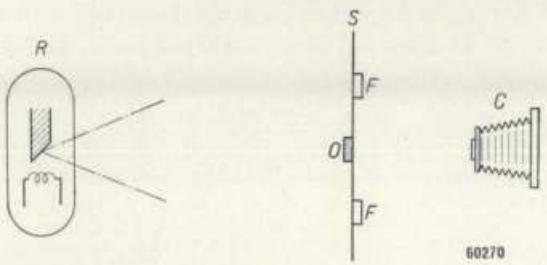
relatief kleine verbetering van 0,5 mm in de afmetingen van het kleinste waarneembare detail, een aanzienlijke vergemakkelijking van de apperceptie gepaard gaat, welke de waarnemingstijd voor het apperceptiefantoom met ongeveer de helft reduceert en bijna alle fouten voorkomt.

De onscherpte van het scherm, die een grens stelt aan de waarneembaarheid van de details en die de voornaamste factor is die de röntgentechniek met vergroot beeld in het leven heeft geroepen, kan bepaald worden met een zg. ster [6]). Deze ster (*fig. 12*) bestaat uit een aantal koperen strippen die als sectoren in een cirkel zijn gerangschikt. De ruimte tussen de strippen is met papier opgevuld. De cirkel is verdeeld in vier kwadranten; de dikte van de koperen sectoren is in elk kwadrant verschillend, en wel resp. 0,5; 1,0; 2,0 en 3,0 mm. De straal van de cirkel is 2,5 cm, vier cirkelvormige metaaldraden geven de plaats aan waar de afstand tussen twee strippen ongeveer 0,25; 0,50; 0,75 en 1,00 mm is. De kleinste afstand waarop de sectoren in het röntgenbeeld nog worden gescheiden, kan zodoende vrij nauwkeurig worden bepaald. Om de onscherpte van het scherm te bepalen, wordt



60205

Fig. 12. Bepaling van de onscherpte van het fluorescentiescherm met behulp van een ster, bestaande uit een aantal koperen strippen, als sectoren in een cirkel gerangschikt. *a*) Fotografische opname van het fluorescentiebeeld van de ster. *b*) Röntgen-contactopname van de ster.



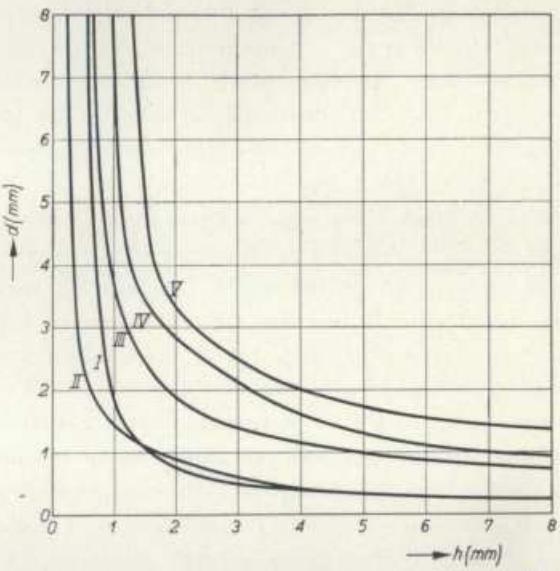
60270

Fig. 13. Schema van de opstelling om de onscherpte van het fluorescentiescherm te bepalen. *R* röntgenbuis, *O* ster, *S* scherm, *F* röntgen-contactopnamen van de ster die op het scherm zijn geplakt, *C* fotografische camera.

[6]) Over een andere methode om deze grootheid te onderzoeken, zie H. A. Klasens, De onscherpte van röntgenbeelden, Philips techn. T. **9**, 364-369, 1947.

nu het fluorescentiebeeld van de ster met de camera gefotografeerd, tezamen met een aantal aan de zijde van de camera op het scherm geplakte contactopnamen van de ster (*fig. 13*). Het verschil in scherpte tussen de afbeelding van het fluorescentiebeeld en die van de contactbeelden (fig. 12) moet geheel aan de invloed van het fluorescentiescherm worden toegeschreven (men moet er wel op letten dat de helderheid en het contrast van het schermbeeld en de contactopnamen ongeveer dezelfde zijn).

d) Ten slotte vermelden wij nog de mogelijkheid om met het contrast-detail-diagram de invloed van de beweging van het object op de eigenschappen van het röntgenbeeld afzonderlijk te onderzoeken.



60271

Fig. 14. Invloed van de beweging van het fantoom op het contrast-detail-diagram. *I* Bewegingsonscherpte nul, *II* bewegingsonscherpte 1 mm. Tussen *I* en *II* is nog niet veel verschil te zien. *III*, *IV* en *V* bewegingsonscherpte resp. 2,5; 7 en 12 mm. De waarnemingskrommen vertonen een steeds ongunstiger verloop.

Wij hebben reeds vermeld dat zulk een beweging bij longopnamen onvermijdelijk is. Het contrast-detail-fantoom wordt geplaatst in het bewegingstoestel volgens fig. 3. Röntgen-contact-opnamen van het bewegende fantoom met belichtingstijden 0,05 en 0,25 sec geven contrast-detail-diagrammen die in *fig. 14* zijn afgebeeld. De verklaring der verschillende curven is in de figuur bijgeschreven. Een kleine beweging heeft weinig invloed; hoewel het object minder scherp wordt afgebeeld, kan het toch nog worden waargenomen, daar het beeld enigszins wordt uitgerekt door de beweging. Bij een bewegingsonscherpte groter dan 2 mm echter treedt een duidelijke vermindering van de waarneembaarheid aan het licht.

Regelmatige kwaliteitscontrôle van röntgenbeelden

Bij röntgenologisch longonderzoek komt het vaak voor, dat van eenzelfde patient verscheidene

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

opnamen met meer of minder lange tussenpozen moeten worden gemaakt. Om deze foto's met elkaar te kunnen vergelijken, en nauwkeurig het verloop van een bepaalde longaandoening te kunnen nagaan, is het van het grootste belang gegevens te bezitten over de scherpte- en contrasteigenschappen van elk beeld. Het is ondoenlijk deze met behulp van het contrast-detail-fantoom of het apperceptie-fantoom te verkrijgen: niet alleen zijn deze fantomen veel te groot om eventueel meegefotografeerd te worden, maar bovendien neemt het beoordelen van de fantoombeelden en het construeren der diagrammen veel te veel tijd in beslag. Teneinde toch een goed idee te verkrijgen van de eigenschappen van de duizenden longopnamen die jaarlijks bij de Medische Afdeling der N.V. Philips worden gemaakt, is een klein fantoom ontworpen, dat gemakkelijk met de patient mee kan worden gefotografeerd ter weerszijden van de hals, en dat de medicus in staat stelt, een regelmatige kwaliteitscontrôle van al zijn opnamen uit te voeren. Dit fantoom (*fig. 15*) bestaat uit een in twee stukken gedeelde aluminium trap. Het eerste deel bevat vijf treden van 4 tot 8 mm dikte, het tweede deel vijf treden van 9 tot 13 mm dikte. „Philite" kan hier niet gebruikt worden; wegens de kleine afmetingen van het fantoom is bij dit materiaal de totale absorptie voor röntgenstralen te gering. Als beter geschikt materiaal voor zulke kleine objecten is aluminium gekozen. Dit komt echter niet zo goed overeen met de thorax; daarom is in voorafgaande proeven een vergelijking gemaakt tussen een aluminium trap en een „Philite" trap; de eerste is als het ware met behulp van de tweede geijkt. Als „details" zijn op iedere trap vijf „Philite" bolletjes bevestigd, met diameters variërend tussen 1 en 4 mm. Bovendien is ter contrôle van de stralenkwaliteit aan het ene deel van het fantoom nog een koperen trapje (dikte 0,2 tot 0,6 mm) aangebracht, en aan het andere deel een loden strip om de sluiering van de onbelichte film te controleren.

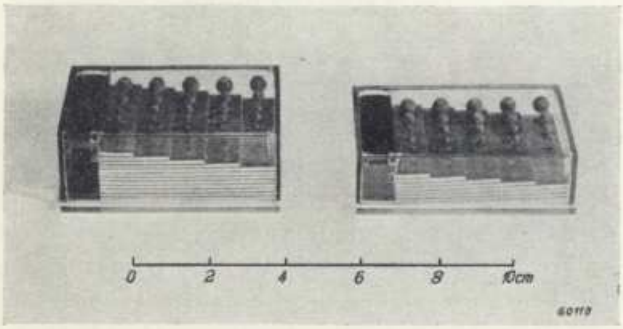


Fig. 15. Fantoom voor regelmatige contrôle van de kwaliteit van röntgenopnamen. Het bestaat uit twee gedeelten; ieder deel wordt gevormd door vijf aluminium treden, waarop „Philite" bolletjes van variërende diameter zijn bevestigd. Aan de linkerzijde van het linkerdeel ziet men een koperen trap, van het rechterdeel een loodstrip, om de stralenkwaliteit, resp. de sluiering van de film te controleren.

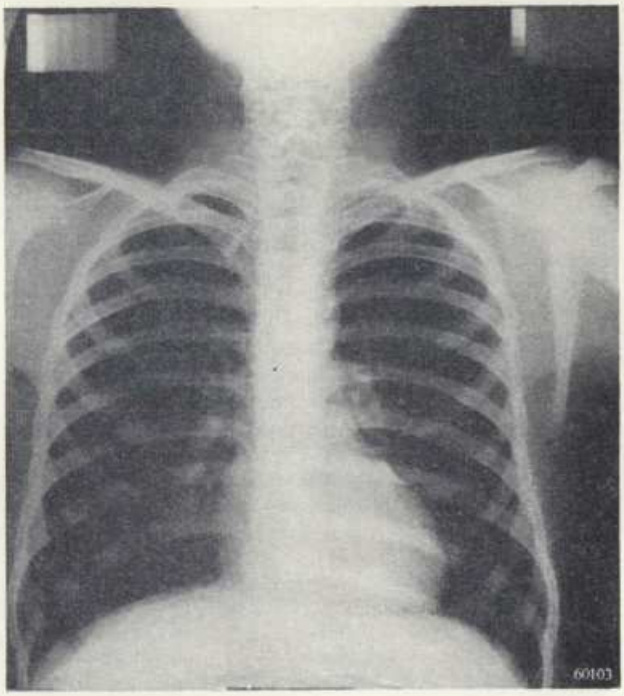


Fig. 16. Longfoto, waarop het contrôlefantoom boven de schouders van de patient is te zien.

Met behulp van dit fantoom is het heel gemakkelijk een longopname te beoordelen. In *fig. 16* is een normale longopname weergegeven; boven de schouders van de patient ziet men het beeld van het fantoom. Men vergelijkt het gebied van de opname dat men wenst te onderzoeken, met die aluminium trede die dezelfde zwarting vertoont, en leest daarvan het kleinste detail af dat men nog kan waarnemen. Het blijkt bij contact-opnamen, dat op de aluminium trede die in zwarting overeenkomt met het vrije longveld (tussen de ribben) gemiddeld vier en soms alle vijf bolletjes kunnen worden waargenomen. Dit is goed in overeenstemming met de vroeger uit het contrast-detail-diagram bepaalde afmeting van de kleinste op een contact-opname zichtbare cylinder, nl. ca 1 mm.

Samenvatting. Na een inleiding over de voornaamste eigenschappen van een röntgenbeeld, wordt de constructie besproken van enige fantomen, die het mogelijk maken de merites van verschillende röntgenmethoden te vergelijken. Enkele toepassingen van deze fantomen worden behandeld: de onderlinge vergelijking van de eigenschappen van de röntgenapparaten in verschillende instituten, de selectie van medici en technici voor doorlichtingsonderzoek, het onderzoek naar de invloed van een vergroting van het röntgenbeeld, het nagaan van het effect van een beweging van het object op het röntgenbeeld. Ten slotte wordt een fantoom van kleinere afmetingen beschreven, dat dient ter regelmatige contrôle van longopnamen, hetgeen vooral van belang is indien verscheidene opnamen van een patient worden gemaakt.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

LICHTBRONNEN VOOR LIJNSPECTRA

door W. ELENBAAS en J. RIEMENS. 621.327.3/.4:535.338.3

Het onderstaande artikel bevat gegevens over een reeks ontladingslampen die ontwikkeld zijn als monochromatische lichtbronnen voor optische proeven.

Inleiding

Bij natuurkundige proeven waarbij het licht een rol speelt en ook in de scheikunde (men denke aan de polarimetrie) wordt vaak de behoefte gevoeld aan een sterke monochromatische lichtbron, of aan een lichtbron die een aantal monochromatische stralingen van bekende golflengte uitzendt. Dikwijls kan men zich helpen met een „monochromator", een instrument waarin, met behulp van prisma's en spleten, een smal gedeelte uit het spectrum van een lichtbron met continu spectrum (gloeilamp of koolboog) wordt afgezonderd. In vele gevallen is een dergelijke lichtbron echter niet monochromatisch genoeg. Men kan dan gebruik maken van de reeds door Kirchhoff en Bunsen toegepaste kleuring van vlammen door metalen, aanwezig in zouten. De bekende, van ouds in de polarimetrie en bij interferentieproeven gebruikte natriumvlam is daar een voorbeeld van. Deze vlammen hebben echter het bezwaar meestal weinig lichtsterk te zijn, terwijl ook de constantheid van de straling veel te wensen over laat. Men moet dan ingewikkelde apparaturen verzinnen om de vlam regelmatig te voeden met lucht die een constant gehalte aan zoutdeeltjes bevat.

Reeds kort na de ontdekking van Kirchhoff en Bunsen begon men, in het belang der spectroscopie, gebruik te maken van het feit dat gassen en dampen tot lichten kunnen worden gebracht door een electrische ontlading. Plücker liet door zijn glasblazer Geissler voor dit doel geschikte ontladingsbuizen maken die sindsdien naar de vervaardiger zijn genoemd. Een geisslerbuis (*fig. 1*) is

Fig. 1. Geisslerbuis voor gebruik in de spectroscopie.

in wezen een ontladingsbuis met koude electroden. Het lichtende deel, de zg. positieve zuil, bevindt zich in een vernauwd gedeelte, waardoor de stroomdichtheid versterkt en de helderheid vergroot wordt. Geisslerbuizen werden oorspronkelijk meestal gevoed met de pulserende stroom uit een inductieklos. Mits men voor voldoende begrenzing zorgt, kan men ze ook voeden met wisselstroom of gelijkstroom van hoge spanning. Ze houden echter altijd het bezwaar dat de capillair en de electroden reeds bij betrekkelijk zwakke belasting warm worden, ten gevolge waarvan het gas wordt verontreinigd en de buis te gronde gaat.

De ontwikkeling van moderne gasontladingslampen met oxydekathode heeft, ook voor toepassingen als boven bedoeld, nieuwe mogelijkheden geschapen, omdat een oxydekathode een grote electronenstroom kan afgeven zonder dat de kathode overbelast wordt. Men kan thans gemakkelijk kleine ontladingsbuizen maken die een of ander gas of een metaaldamp of een mengsel van beide in zeer zuivere toestand bevatten en die een hoge stroomsterkte toelaten, zodat een lichtbron wordt verkregen die in één enkele spectrale lijn of in weinige lijnen een aanzienlijke energie uitzendt.

De uitvoering van de lampen

De ontladingsbuizen die thans voor bovengenoemd doel door Philips worden vervaardigd, zijn naar behoefte in glas of in kwarts uitgevoerd. De afmetingen van de eigenlijke ontladingsbuis variëren van geval tot geval. De lengte van het lichtgevende deel der ontlading bedraagt 3 tot 4 cm.

De buizen zijn aan beide zijden voorzien van een doorvoerdraad die een oxydekathode draagt, welke niet afzonderlijk verhit wordt maar door de ontlading op de vereiste hoge temperatuur wordt gebracht en gehouden. In enkele gevallen, namelijk bij sommige met metaaldamp gevulde buizen, zijn de uiteinden van het ontladingsbuisje verspiegeld, ten einde de temperatuur in het buisje zo hoog te houden dat een voldoend hoge dampdruk van het metaal (bijv. cadmium) ontstaat. In *fig. 2* zijn enkele vormen van de ontladingsbuizen schematisch in doorsnede weergegeven.

Ten einde de eigenlijke ontladingsbuis tegen stoten te beschermen en ook om de toevoerdraden, die soms vrij warm worden, voor oxydatie te vrijwaren, is de buis omgeven met een tweede ballon, die, naar behoefte, eveneens uit glas of uit kwarts is vervaardigd. De ruimte tussen de ballons is geëvacueerd of gevuld met stikstof. De buitenste

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

ballon is voorzien van een schroeflampvoet, waarmee hij in een houder kan worden bevestigd. In *fig. 3* ziet men een fotografische opname van een aantal dezer lampen. De afstand van het midden der ontladingsbaan tot de lampvoet is voor alle lampen gelijk, zodat bij verwisseling de hoogte niet opnieuw behoeft te worden ingesteld.

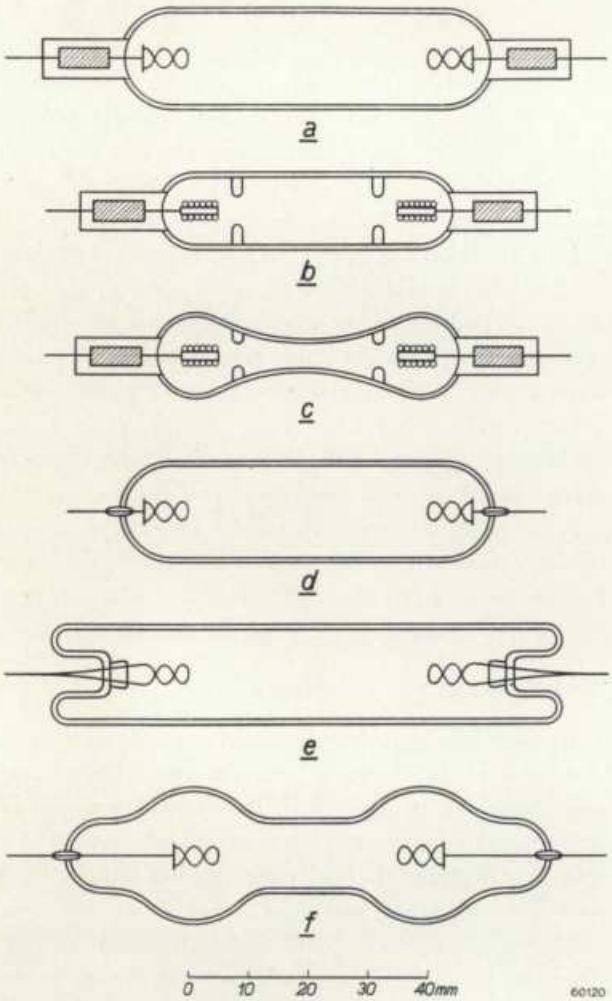


Fig. 2. Constructie van de lichtbronnen voor lijnspectra.
a) Kwik (lage druk, kwarts),
b) kwik (hoge druk) en cadmium (beide in kwarts),
c) zink (kwarts),
d) natrium, rubidium, caesium (glas),
e) kwik (lage druk), Ne, A, Kr, Xe (glas),
f) helium (glas).
De oxydekathode bestaat bij *b* en *c* (ontladingsbuizen met hoge druk) uit een met gespiraliseerde draad omwoelde stift, bij de overige buizen uit een getordeerde lus van spiraaldraad. Bij *a*, *b*, en *c*, waarbij de buisjes van kwarts zijn, bestaat de doorvoering uit een molybdeenband. Het buisje *d* is van binnen bekleed met een tegen alkalidamp bestendige laag. De bijzondere vorm van *f* is nodig wegens de grotere warmteontwikkeling in helium.

De voeding

Hoewel sommige der bedoelde lampen, natuurlijk met geschikte stroombegrenzing, wel op een wisselspanning van 220 V zouden kunnen branden, is het met het oog op een gemakkelijke ontsteking

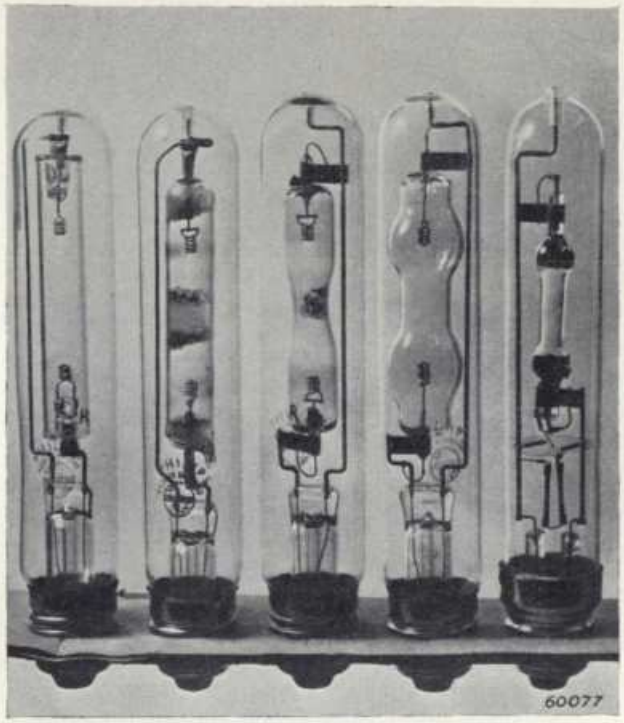


Fig. 3. Enkele lichtbronnen voor lijnspectra.
a) Kwik (lage druk, glas),
b) natrium,
c) rubidium,
d) helium,
e) zink.
Het bij *b* en *c* op de glaswand neergeslagen metaal verdampt bij het bedrijven van de lamp.

gewenst een hogere spanning te gebruiken. Daarom wordt bij de lampen een transformator geleverd, die bij een primaire spanning van 220 V een open spanning van 470 V heeft. Deze transformator is uitgevoerd als spaar-lektransformator. Dit wil zeggen dat voor een aanzienlijke spreiding van krachtlijnen is gezorgd, hetgeen hetzelfde effect heeft alsof in serie met een normale transformator een smoorspoel was geschakeld. Daardoor treedt automatisch begrenzing van de stroom op. De bedrijfsstroom is dientengevolge steeds nagenoeg gelijk aan de kortsluitstroom, welke ongeveer 0,9 A bedraagt. Dank zij de hoge open spanning geschiedt de ontsteking zonder dat de oxydekathoden van te voren afzonderlijk verhit behoeven te worden. In *fig. 4* is de schakeling schematisch weergegeven.

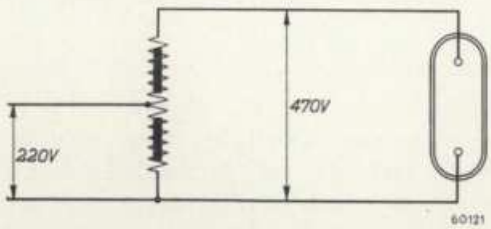


Fig. 4. Schema van het voedingsapparaat (spaar-lektransformator), met aangesloten lichtbron.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

De spectra

De lampen zijn gevuld met hetzij een van de edelgassen He, Ne, A, Kr, Xe, hetzij met argon waaraan een metaal is toegevoegd, dat dan door de warmte van de ontlading tot verdampen wordt gebracht. Als metalen komen in aanmerking de alkalimetalen Na, Rb, Cs en de tweewaardige metalen Zn, Cd, Hg. De kwiklampen kunnen zowel met lage druk als met hoge druk worden uitgevoerd. In het laatste geval is de hoeveelheid kwik zodanig dat het metaal bij de bedrijfstemperatuur geheel in dampvorm overgaat. *Figuur 5* toont opnamen

Type No.	Gas of damp	Vermogen W
93123E	Hg (lage druk)	15
93136E	Hg (hoge druk)	90
93162E	Cd	25
103137E	Zn	25
93145E	Hg, Cd, Zn	90
93098E	He	45
93099E	Ne	25
93100E	A	15
93101E	Kr	15
93102E	Xe	10
93122E	Na	15
93104E	Rb	15
93105E	Cs	10

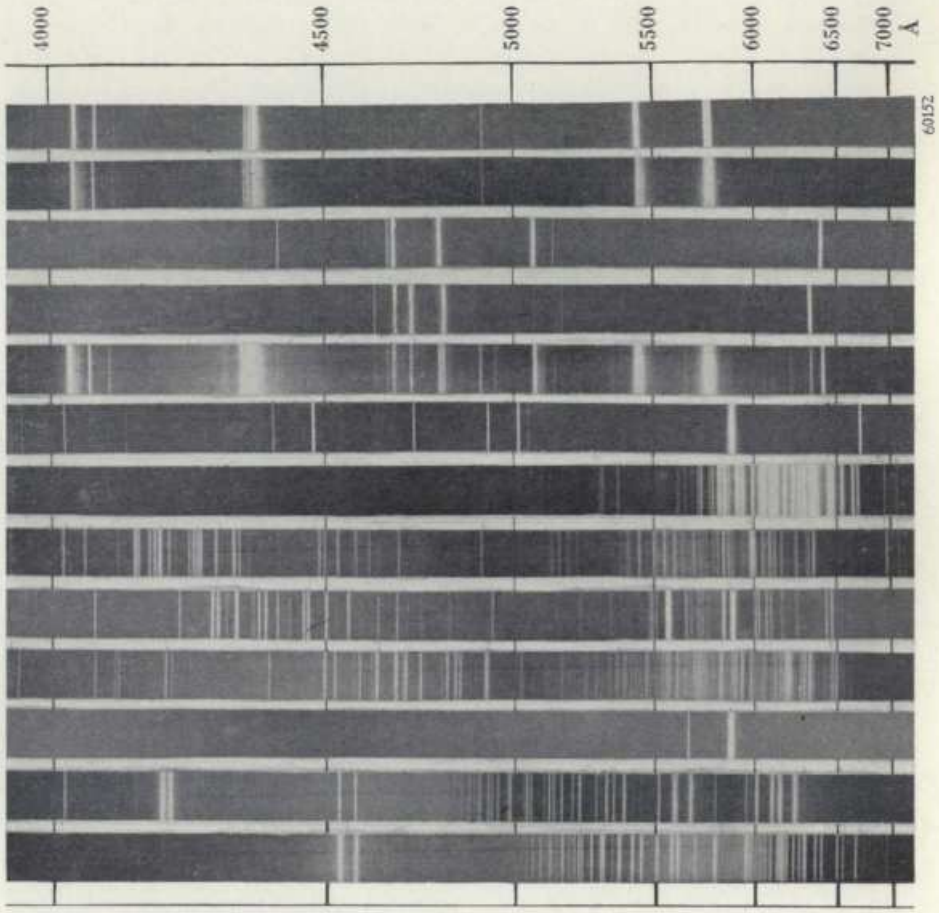


Fig. 5. Spectra der diverse typen lampen die voor het zichtbare spectrale gebied kunnen worden gebruikt. Bij al deze lampen is de buitenballon van glas. Links is aangegeven het typenummer, het gas of de damp waarmee de lamp is gevuld, en het vermogen in watt.

Type No.	Damp	Vermogen W
93109E	Hg (lage druk)	15
93110E	Hg (hoge druk)	90
93107E	Cd	25
93106E	Zn	25
93146E	Hg, Cd, Zn	90

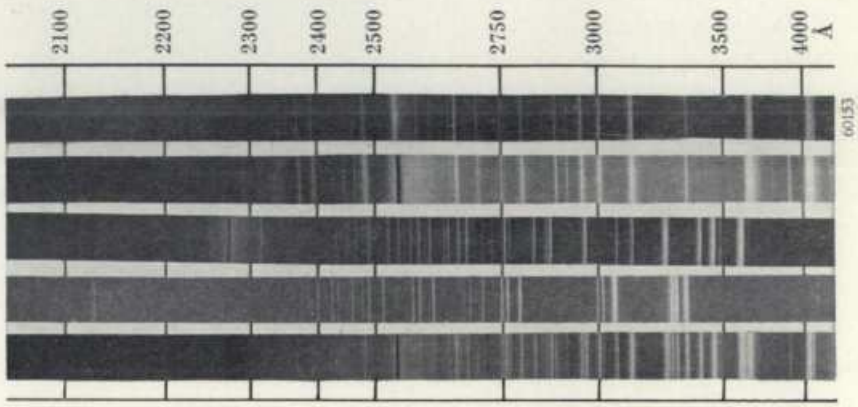


Fig. 6. Hetzelfde als fig. 5 voor het ultraviolette gebied. Deze lamptypen hebben alle een buitenballon van kwarts.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

van het zichtbare spectrum der verschillende lampen en *figuur 6* opnamen van het ultraviolette spectrum.

Indien men een gedeelte uit het spectrum wil afzonderen, kan men gebruik maken van filters. In gunstige gevallen kan men zo bereiken dat slechts licht van één golflengte wordt uitgezonden. Is het in bepaalde gevallen niet mogelijk dit met filters te bewerkstelligen, dan zal men zijn toevlucht moeten nemen tot het plaatsen van een monochromator achter de lamp. In *tabel I* zijn een aantal lijnen aangegeven, die men met een geschikte combinatie van lamp en filters kan isoleren; in *tabel II* vindt men de samenstelling van de hierbij voorkomende vloeistoffilters.

Tabel I. Combinaties van lamptypen en filters, waarmee bepaalde spectrale lijnen kunnen worden geïsoleerd. Is het nodig de infrarode straling te elimineren, dan voegt men nog de in de laatste kolom genoemde filters toe. De filters A, B, C, D, E, zijn vloeistoffilters met de samenstelling die in tabel II is aangegeven (te gebruiken in een cuvette van 20 mm dikte). De overige filters, behalve enkele als zodanig aangeduide Zeissfilters, zijn van Schott. (De gegevens voor deze tabel zijn in hoofdzaak ontleend aan: H. Ewest en K. Larché, Handbuch der Lichttechnik, Springer Berlijn 1938, p. 192.)

Geïsoleerde golflengte Å	Lamptype No.	Filters	Filters voor absorptie van infrarood
3076	93106E	UG 5 (5 mm) + A + B (10 mm)	
3126/32	93110E	UG 5 (5 mm) + C	E
3261	93107E	UG 2 (2 mm) + A + C	
3341	93110E	UG 2 (2 mm) + A + D	
3650/63	93110E	UG 2 (2 mm) + BG 12 (4 mm)	E + BG 19 (2 mm)
4047	93123E 93136E	UG 3 (9 mm) + GG 4 (1,5 mm)	E + BG 19 (2 mm)
4358	93123E 93136E	BG 12 (4 mm) + GG 3 (4 mm) of Zeiss C	E + BG 19 (2 mm)
4555/93	93105E	GG 2 (2 mm) + BG 12 (2 mm)	E + BG 19 (2 mm)
4678/4800	93162E	GG 5 (1 mm) + BG 12 (2 mm)	E + BG 19 (2 mm)
5086	93162E	GG 11 (2 mm) + VG 3 (2 mm)	E + BG 19 (2 mm)
5461	93123E 93136E	BG 11 (20 mm) + OG 1 (1 mm) + BG 18 (3 mm) of Zeiss B	E + BG 19 (2 mm)
5770/91	93123E 93136E	OG 3 (1 mm) + VG 3 (1 mm) + BG 18 (1 mm) of Zeiss A	E + BG 19 (2 mm)
5890/96	93122E	OG 3 (1 mm) + VG 3 (1 mm) of OG 2 (2 mm)	E + BG 19 (2 mm)
6362	103137E	RG 1 (2 mm)	BG 19 (2 mm)
6438	93162E	RG 1 (2 mm)	BG 19 (2 mm)

Tabel II. Vloeistoffilters, gebruikt voor het isoleren van bepaalde spectrale lijnen volgens tabel I.

No.	Samenstelling	Gewicht per liter water
A	Nikkel-cobaltsulfaat $Ni\,SO_4 . 1\,H_2O$ $Co\,SO_4 . 1\,H_2O$	 303 g 86,5 g
B	Pikrinezuur	31,6 mg
C	Kaliumchromaat K_2CrO_4	150 mg
D	Salpeterzuur HNO_3	12,6 g (0,2 n)
E	Kopersulfaat $Cu\,SO_4 . 5\,H_2O$	28,5 g

Samenvatting. Beschreven wordt de constructie en de voedingsapparatuur van een aantal lichtbronnen voor lijnspectra. Er wordt een overzicht gegeven van de diverse vullingen (edelgassen en metaaldampen) alsmede van de uitgezonden spectra. In een tabel is aangegeven hoe men met bepaalde filters, die nader worden beschreven, uit de verschillende spectra bepaalde stralingen kan isoleren.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

ONDERZOEKINGEN OVER DE KERFSLAGWAARDE VAN IJZER EN STAAL

door J. D. FAST.

620.178.746.22:669.12:669.141.24

Om de sterkte van staalsoorten te beoordelen, past men in de techniek naast de gewone trekproef vaak de zg. kerfslagproef toe. Deze laatste stelt zwaardere eisen aan de weerstand van het materiaal tegen het optreden van een zg. brosse breuk dan de trekproef, die voornamelijk inlichtingen geeft over de weerstand tegen plastische vervorming. In het artikel komen behalve algemeen bekende zaken, zoals de uitvoering en betekenis van de kerfslagproef en de elementaire begrippen uit de spannings- en breukleer, ook oorspronkelijke metingen ter sprake, waarbij de kerfslagwaarde van zuiver ijzer als functie van de temperatuur werd bepaald en waarbij de invloed werd nagegaan die zuurstof, koolstof en stikstof hierop hebben.

De kerfslagproef

Het komt in uitzonderingsgevallen voor dat staalsoorten die zich bij de gewone trekproef „taai" gedragen (dwz. een aan de breuk voorafgaande grote vervorming vertonen), in het gebruik „bros", dit is zonder noemenswaardige voorafgaande vervorming, breken. Zeer veel beroering heeft bijv. in het afgelopen tiental jaren het instorten van enkele gelaste bruggen en het bezwijken van verscheidene gelaste schepen gewekt. Hierbij bleken de breuken van het brosse type te zijn, ondanks het feit dat de materialen zich bij de trekproef redelijk goed gedroegen. Deze en andere ervaringen hebben al lang geleden tot het inzicht geleid dat het taai dan wel bros breken niet alleen bepaald wordt door de materiaaleigenschappen maar evenzeer door de wijze waarop het materiaal tijdens de beproeving of tijdens het gebruik wordt belast.

De grote rol die de wijze van belasting bij het taai of bros breken speelt, blijkt uit buigproeven aan ingekerfde staven. Reeds meer dan een halve eeuw geleden constateerde men dat dergelijke proeven zwaardere eisen stellen aan de weerstand van de materialen tegen scheuren dan de klassieke trekproef. Men boog de ingekerfde staven in een bankschroef, en wel zodanig dat de kerf zich tijdens de deformatie opende. Daarbij kwam het voor dat van twee staalsoorten, die zich bij de trekproef vrijwel identiek gedroegen, de ene bij de buigproef taai brak onder opneming van veel energie en de andere bros brak onder opneming van weinig energie. De proef bleek nog te kunnen worden verscherpt door de eenzijdig ingeklemde staven boven de kerf een zodanige slag met een hamer toe te dienen dat de snelheid van buigen aanzienlijk werd opgevoerd. Op de basis van deze ervaringen heeft men toestellen ontwikkeld die ons in staat stellen een metaal dusdanig te beproeven, dat een gunstig resultaat van de proef (de zg. kerfslagproef) meer garantie biedt tegen het optreden van ongelukken in de practijk dan een gunstige uitslag van de gewone trekproef.

In de verschillende landen zijn diverse typen van dergelijke toestellen in gebruik, terwijl ook de voorschriften voor de afmetingen der te onderzoeken staven sterk uiteenlopen. Wij hebben bij onze onderzoekingen gebruik gemaakt van een door de ISA („International Federation of the National Standardizing Associations") aanbevolen staaf van $10 \times 10 \times 55$ mm met een kerf van 2 mm breedte en 5 mm diepte (zie *figuur 1*), en deze beproefd met behulp van een zg. toestel van Charpy. De staaf ligt bij deze beproeving op twee horizontale en tegen twee verticale steunen, die 40 mm van elkaar verwijderd zijn, en ontvangt van een slingerhamer H, die uit een bepaalde stand α (corresponderende met de hoogte h) wordt losgelaten (zie *figuur 2*), een slag tegen het midden van het vlak dat tegenover de gekerfde zijde ligt. De hamer is bevestigd aan een stang S. De vorm en massaverdeling van de hamer zijn zo gekozen dat bij de slag vrijwel geen stoot op het draaipunt van de

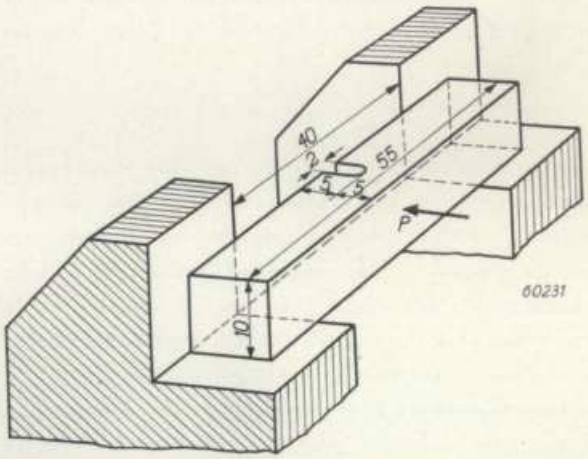


Fig. 1. Schets van een kerfslagstaafje. De bijgeschreven maten zijn in mm. De staaf wordt in het punt P door de hamer getroffen.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

stang wordt overgebracht [1]). Door de slag wordt het kerfslagstaafje onder verbruik van een bepaalde hoeveelheid energie in twee stukken gebroken of zover opengescheurd en gebogen, dat het tussen de ruimte van 40 mm doorgetrokken kan worden. Daarna stijgt de hamer ten gevolge van zijn niet-verbruikte hoeveelheid energie weer tot een

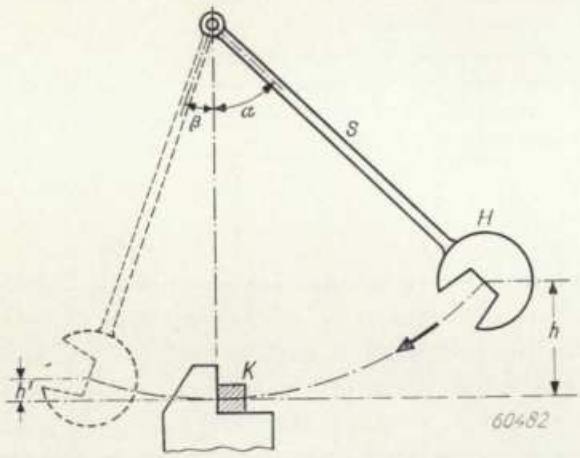


Fig. 2. Schematische voorstelling van het toestel van Charpy ter bepaling van de kerfslagwaarde. De slingerhamer H is zo geconstrueerd dat zijn zg. stootpunt samenvalt met het punt waar hij het kerfslagstaafje K treft. Door de hoek α te geven en β te meten, kan de arbeid die door de slingerhamer is verricht, worden bepaald.

stand β, corresponderende met de hoogte h'. De op het staafje verrichte arbeid A wordt gegeven door:

$$A = G\,(h - h') = Gl\,(\cos\beta - \cos\alpha)\,, \quad . \quad . \quad (1)$$

als G het gewicht van de hamer (bij onze experimenten 10 of 30 kg, oftewel 98 resp. 294 newton) en l de afstand van draaipunt tot zwaartepunt van de slinger is. De slagarbeid A (in kgm), omgerekend per cm² breukvlak, dus in ons geval, bij een breukvlak van 10×5 mm, vermenigvuldigd met twee, wordt kerfslagwaarde (ook wel kerfslagtaaiheid) genoemd. Deze grootheid heeft geen verdere directe physische betekenis, maar is een goede technische maat voor de weerstand van het materiaal tegen breuk. Gaat er aan het breken een grote plastische vervorming vooraf, dan is de kerfslagwaarde groot en vertoont het metaal gewoonlijk een „vezelige" („matte") breuk. Treedt er practisch geen plastische vervorming op, dan is de kerfslagwaarde klein en vertoont het metaal in de regel een „korrelige" („glinsterende") breuk. Als overgangsgeval treden ook „gemengde breuken" op, die gedeeltelijk een „vezelig" en gedeeltelijk een „korrelig" uiterlijk vertonen.

[1]) Hiertoe moet het staafje de hamer treffen in een bepaald punt (het „stootpunt"), dat niet ver van diens zwaartepunt verwijderd ligt.

De betekenis van de kerfslagproef

Dat hetzelfde metaal zich bij een en dezelfde temperatuur bij de ene beproeving (bijv. de trekproef) ductiel en bij de andere beproeving (bijv. de kerfslagproef) bros kan gedragen, berust in hoofdzaak op het feit dat het materiaal in deze proeven tijdens de belasting aan verschillende spanningstoestanden is onderworpen. (Het verschil in de snelheid van uitvoering tussen de beide proeven is van geringere betekenis; zie ook blz. 311/312.) We kunnen de spanningstoestand in een punt van een lichaam beschrijven, door een groot aantal vlakken door dit punt aangebracht te denken en voor al deze verschillend georienteerde vlakken de er op werkende kracht per oppervlakte-eenheid in grootte en richting aan te geven. Elk van deze spanningen kan worden voorgesteld door een vector. Deze vector kan worden ontbonden in een component liggende in het beschouwde vlak, de zg. schuifspanning, en een component loodrecht op dat vlak, de zg. normaalspanning. Men kan aantonen dat men bij elke belasting (hoe gecompliceerd ook) in elk punt van het lichaam drie onderling loodrechte vlakken kan aangeven waarin de schuifspanningen gelijk aan nul zijn. De normaalspanningen op deze vlakken noemt men de hoofdspanningen. Kent men de waarden van deze drie hoofdspanningen en hun richtingen, dan is de spanningstoestand in het beschouwde punt volledig bekend. De spanningen op alle anders georienteerde vlak-elementen door dat punt kunnen dan nl. door berekening worden gevonden. Wij zullen de drie hoofdspanningen aangeven met de symbolen σ_1, σ_2 en σ_3, waarbij met σ_1 de grootste en met σ_3 de kleinste (in algebraïsche zin) is bedoeld. Hierbij worden trekspanningen positief en drukspanningen negatief geteld, zodat een drukspanning altijd kleiner is dan een trekspanning. De hoofdspanning σ_1 is tevens de grootste der in het beschouwde punt optredende normaalspanningen:

$$\sigma_{max} = \sigma_1. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

De maximale schuifspanning wordt gegeven door:

$$\tau_{max} = {}^1/_2\,(\sigma_1 - \sigma_3) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

Zij werkt in elk van de twee onderling loodrechte vlakken die de rechte hoeken tussen de richtingen van σ_1 en σ_3 middendoor delen en die de richting van de hoofdspanning σ_2 bevatten. Bij de gewone trekproef ($\sigma_2 = \sigma_3 = 0$) werkt de maximale schuifspanning in alle vlakken die een hoek van 45° met de trekrichting maken.

De normaalspanningen trachten het lichaam uiteen te scheuren volgens de vlakken waarop zij

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

werken, terwijl de schuifspanningen de aangrenzende vlakken van het lichaam langs elkaar trachten te laten glijden, waardoor ze verantwoordelijk zijn voor eventueel optredende plastische vervormingen. Om te kunnen voorspellen of een lichaam een bepaalde spanningstoestand kan verdragen zonder dat plastische vervorming of breuk optreedt, moeten we zijn weerstand tegen afschuiving en zijn weerstand tegen breuk kennen.

De betekenis van deze beide factoren is het gemakkelijkst te overzien voor eenkristallen: overschrijdt de schuifspanning werkende in een bepaald kristallografisch vlak en in een bepaalde richting een kritische waarde (de schuifvastheid, of weerstand tegen afschuiven, voor dat vlak en voor die richting), dan treedt een blijvende vormverandering op, doordat de vlakken over elkaar gaan schuiven. Overschrijdt de normaalspanning werkende loodrecht op een bepaald kristallografisch vlak een andere kritische waarde (de cohaesievastheid, of weerstand tegen splijten, voor dat vlak), dan treedt breuk op.

Het is duidelijk dat we zelfs in het geval van een eenkristal reeds een veelheid van schuifvastheden en cohaesievastheden moeten onderscheiden. Nog veel ingewikkelder, althans in principe, is de situatie in polykristallijne metalen, waarmee we in de techniek steeds te maken hebben. Zijn de kristallen echter betrekkelijk klein en bezitten zij geen voorkeursorientaties, dan kunnen wij aan het polykristallijne materiaal bepaalde gemiddelde eigenschappen toekennen, dus één bepaalde schuifvastheid τ_{kr} en één bepaalde cohaesievastheid σ_{kr}, die onafhankelijk zijn van plaats en richting. Deze begrippen hebben nu de betekenis van bepaalde kritische waarden van de, door de belasting gegeven, maximale schuifspanning τ_{max} en maximale normaalspanning σ_{max}: in het materiaal treedt plastisch vloeien op zodra

$$\tau_{max} > \tau_{kr}, \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

resp. breuk zodra

$$\sigma_{max} > \sigma_{kr} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (5)$$

Wordt bij het aangroeien van de belasting σ_{kr} eerder overschreden dan τ_{kr}, dan breekt het materiaal zonder enige voorafgaande plastische vervorming. Wordt daarentegen τ_{kr} eerder overschreden, dan gaat aan de breuk een kleinere of grotere deformatie vooraf.

Volgens een criterium dat in de meeste onderzochte gevallen iets nauwkeuriger blijkt te zijn dan dat van de maximale schuifspanning τ_{max}, treedt vloeien in een isotroop polykristallijn metaal op zodra een in de plaats van τ_{max} tredende grootheid een kritische waarde overschrijdt, die niet zoals τ_{max} slechts van σ_1 en σ_3 afhangt (zie formule (3)), maar ook van de middelste hoofdspanning σ_2. Voor onze grotendeels qualitatieve beschouwingen biedt het echter geen voordelen hierop nader in te gaan. Evenmin gaan wij nader in op het feit dat het optreden van breuk in bepaalde gevallen door een ander criterium kan worden bepaald dan dat van de maximale normaalspanning.

Om nu ten slotte in te zien dat in bepaalde gevallen bij de kerfslagproef een brosse breuk kan optreden, terwijl dit bij de gewone trekproef niet het geval is, beschouwen we eerst het extreme (practisch niet-realiseerbare) geval van een lichaam dat aan een gelijkmatige alzijdige trek is onderworpen ($\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3$). Volgens (3) treden dan in geen enkel doorsnijdingsvlak van het lichaam schuifspanningen op. Bij een voortdurend aangroeien der trekspanningen zou bij deze belasting elk lichaam zonder voorafgaande plastische vervorming breken, ook van een materiaal dat bij een normale trekproef zeer ductiel zou blijken te zijn.

Bij de kerfslagproef zijn weliswaar de drie hoofdspanningen in het metaal onder de kerf niet aan elkaar gelijk, maar er treedt aldaar tijdens de belasting toch een uitgesproken drieassige trekspanningstoestand in het materiaal op, in tegenstelling tot de eenassige spanningstoestand die optreedt bij de normale trekproef. Wij kunnen dit als volgt begrijpen.

Het materiaal grenzende aan en gelegen onder de bodem van de kerf wordt in de lengterichting van de slagstaaf plaatselijk sterk uitgerekt doordat aldaar bij het buigen een grote trekspanning optreedt. Hiermee gaat een contractie (de zg. Poisson-contractie) gepaard in alle richtingen loodrecht op de richting van de trekspanning. Nu vormt echter de kerf een onderbreking in de samenhang van de staaf, waardoor het materiaal grenzende aan de zijvlakken van de kerf onbelast is en niet aan de vervorming deelneemt. Het vormt hierdoor een belemmering voor de Poisson-contractie in de vervormingszone. Deze belemmering uit zich in het optreden van trekspanningen die loodrecht staan op de richting van de primaire trekspanning. Het bestaan van deze secundaire trekspanningen heeft volgens formule (3) tot gevolg, dat de maximale normaalspanning σ_{max} ($= \sigma_1$) bij de kerfslagproef groter moet zijn dan bij de gewone trekproef om dezelfde waarde van de maximale schuifspanning τ_{max} te verkrijgen.

Bij de gewone trekproef is bij elke belasting σ_{max} twee maal zo groot als τ_{max}. Laten we de belasting op de trekstaaf geleidelijk aangroeien van de

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

onbelaste toestand af, dan nemen σ_{max} en τ_{max} (bij gelijkblijvende verhouding $\sigma_{max}/\tau_{max} = 2$) voortdurend in grootte toe en het zal geheel van de waarden van de cohaesievastheid σ_{kr} en de schuifvastheid τ_{kr} afhangen of het materiaal ten slotte bros zal breken of dat er een grotere of kleinere plastische vervorming aan de breuk zal voorafgaan. Het zal geen nadere uitleg behoeven, dat het laatste het geval zal zijn indien $\sigma_{kr}/\tau_{kr} > 2$.

Volgens het voorgaande is bij de kerfslagproef $\sigma_{max}/\tau_{max} > 2$. Nemen we willekeurig aan dat bij de door ons gebruikte kerfslagstaaf $\sigma_{max}/\tau_{max} = 3$, dan eist een ductiel gedrag dat nu $\sigma_{kr}/\tau_{kr} > 3$, dwz. dat de cohaesievastheid meer dan drie maal zo groot is als de schuifvastheid. Zou σ_{kr}/τ_{kr} voor een bepaald materiaal de waarde 2,5 hebben, dan zou dit zich ductiel gedragen bij de gewone trekproef en bros bij de kerfslagproef; de opneming van energie zou dan bij de trekproef relatief groot, bij de kerfslagproef daarentegen relatief klein zijn (kleine kerfslagwaarde), en wel omdat het tot stand komen van de breuk zelf slechts betrekkelijk weinig energie vereist.

Is bij de kerfslagproef voor een bepaald materiaal voldaan aan de relatie $\sigma_{kr}/\tau_{kr} > \sigma_{max}/\tau_{max}$, dan is het nog niet zeker dat een grote kerfslagwaarde zal optreden, of anders gezegd, dat aan de breuk een grote vervorming zal voorafgaan. We zullen nl. in het volgende zien dat σ_{kr}/τ_{kr} bij toenemende vervorming kleiner wordt. Is deze verhouding bij het begin van de proef dus slechts weinig groter dan σ_{max}/τ_{max}, dan zal reeds na een betrekkelijk geringe vervorming breuk optreden, waardoor de kerfslagwaarde klein zal zijn, zij het ook groter dan bij volkomen bros breken. Het quotient σ_{kr}/τ_{kr} verandert voor een metaal als ijzer tevens met de temperatuur, waardoor het bij de beproeving al of niet optreden van een brosse breuk ook nog in hoge mate afhangt van de temperatuur waarbij de proef wordt uitgevoerd. Wij geven er de voorkeur aan om deze invloed pas verderop te bespreken aan de hand van de door ons uitgevoerde experimenten.

De invloed van zuurstof en koolstof op de kerfslagwaarde van ijzer bij 20 °C

Er zijn reeds vele technische onderzoekingen verricht over de kerfslagwaarde van ijzer en staal. De invloed van elke verontreiniging en elk legeringsbestanddeel afzonderlijk is echter nog niet onderzocht en zelfs is de kerfslagwaarde van zuiver of vrijwel zuiver ijzer als functie van de temperatuur nog nooit gemeten. In het volgende vermelden wij daarom de resultaten van enkele experimenten die hierop betrekking hebben. De bereiding van het voor de experimenten nodige ijzer en van de verschillende legeringen werd reeds eerder beschreven [2]).

De kerfslagwaarde van zuiver ijzer (gehalten aan koolstof en stikstof kleiner dan 0,001 gew %, gehalte aan zuurstof ongeveer 0,001%) bleek bij 20 °C ca 17 kgm/cm² te bedragen. Reeds betrekkelijk kleine extra hoeveelheden zuurstof waren voldoende om bij deze temperatuur een lage kerfslagwaarde te geven. Dit wordt gedemonstreerd door de onderste kromme in *figuur 3*, die bijv. laat zien

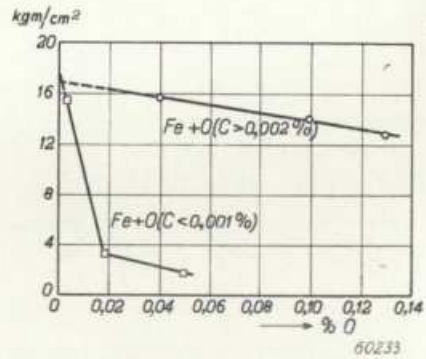


Fig. 3. Invloed van het zuurstofgehalte van ijzer op de kerfslagwaarde. Als het ijzer minder dan 0,001 gew % koolstof bevat, daalt de kerfslagwaarde reeds snel bij toevoeging van enkele honderdsten gew % zuurstof (onderste kromme). Bevat het ijzer echter een weinig koolstof (bijv. 0,002%), dan verdwijnt de invloed van de zuurstof vrijwel geheel (bovenste kromme). — Voor wie met Giorgi-eenheden wenst te rekenen, zij er op gewezen dat 1 kgm/cm² ≈ 10^5 Nm/m².

dat een gehalte van 0,018% zuurstof de kerfslagwaarde tot 3,3 kgm/cm² deed dalen. Daarentegen heeft dit zuurstofgehalte slechts een zeer geringe invloed op het gedrag van ijzer in de gewone trekproef.

De grote invloed van zuurstof op de kerfslagwaarde van ijzer wijst volgens het voorafgaande op een verlaging van het quotient σ_{kr}/τ_{kr} door de zuurstof. De breuk van de zuurstofhoudende kerfslagstaven bleek in vele gevallen voor een belangrijk gedeelte langs de kristalgrenzen te verlopen, zodat we vermoedelijk te maken hebben met een aan de kristalgrenzen gelocaliseerde verlaging van de cohaesievastheid σ_{kr}. Op het eerste gezicht lijkt dit vreemd, want een metallografisch onderzoek leert dat het grootste gedeelte van de zuurstof niet langs deze grenzen in het metaal aanwezig is, maar als ongeveer bolvormige insluitsels van ijzeroxyde binnen in de kristallen, en het is niet aan te nemen dat deze insluitsels een grote invloed op de kerfslagwaarde hebben. (Het is bijv. bekend dat bolvormige insluitsels van mangaansulfide, zelfs indien

[2]) J. D. Fast, Philips techn. T. **11**, 244-247, 1949 (No. 8).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

in een groot aantal aanwezig, geen belangrijke invloed op de kerfslagtaaiheid hebben.) We moeten blijkbaar aannemen dat zich toch ook langs de kristalgrenzen enig ijzeroxyde bevindt, waardoor een sterke verlaging van de intergranulaire cohaesie optreedt. Merkwaardigerwijze heeft koolstof, ook indien dit element zich aan de kristalgrenzen bevindt, geen grote invloed op de kerfslagwaarde bij 20 °C. We zouden dit kunnen verklaren door aan te nemen dat het oxyde als een bijna ononderbroken huid langs de kristalgrenzen aanwezig is en aldus de metallische samenhang over grote afstanden verbreekt, terwijl het carbide misschien geïsoleerde eilandjes aan de kristalgrenzen vormt. Er zijn aanwijzingen dat het overeenkomstige het geval is in molybdeen [3]), dat dezelfde kristalstructuur heeft als ijzer.

Nog merkwaardiger is, dat reeds sporen koolstof (0,002 gew % of meer) voldoende zijn om de schadelijke werking van zuurstof in zeer belangrijke mate te verminderen. Dit wordt gedemonstreerd door de bovenste kromme in figuur 3, waaruit men o.a. ziet dat bij aanwezigheid van enkele duizendsten procent koolstof zelfs een hoeveelheid van 0,13% zuurstof de kerfslagtaaiheid van ijzer slechts van 17 to 13 kgm/cm² doet dalen. Het is nog niet duidelijk hoe men zich deze werking van sporen koolstof moet voorstellen.

De kerfslagwaarde als functie van de temperatuur

Voor het bepalen van de kerfslagwaarde van ijzer als functie van de temperatuur werd ijzer met een geringere graad van zuiverheid gebruikt dan wat hierboven „zuiver" ijzer werd genoemd. Het bleek nl. onpractisch lange tijden te vergen om de laatste 0,01% zuurstof met behulp van waterstof volledig te verwijderen uit de vrij grote hoeveelheden ijzer (ca 2 kg) die voor dergelijke metingen nodig zijn. De na een betrekkelijk korte reductietijd nog aanwezige zuurstof werd daarom chemisch gebonden door aan het vloeibare metaal de berekende hoeveelheid zuiver zirconium, zuiver titanium of zuiver aluminium toe te voegen (vgl. het in noot [2]) geciteerde artikel).

Als voorbeeld geeft *fig. 4* de kerfslagwaarde als functie van de temperatuur van ijzer waarin de aanwezige 0,012% zuurstof (alle andere verontreinigingen waren verwijderd) in zirconiumoxyde was omgezet met behulp van 0,035% zirconium. Het gevormde zirconiumoxyde bleef in fijn verdeelde toestand in het metaal achter.

[3]) C. A. Zapffe, F. K. Landgraf en C. O. Worden, Metals Techn. **15**, T.P. 2421, Aug. 1948.

Zoals men uit fig. 4 ziet, vertoont de kerfslagwaarde-kromme een betrekkelijk scherpe overgang van grote naar kleine waarden aan de zijde der lage temperaturen. Deze steile daling was bij technisch vloeistaal reeds lang bekend. Daarentegen vertoont de kromme niet het bekende minimum, dat bij vloeistaal tussen 400 en 500 °C optreedt.

De daling in de buurt van 0 °C kan worden verklaard op grond van de vrijwel algemeen gemaakte onderstelling dat τ_{kr} relatief sterker toeneemt bij dalende temperatuur dan σ_{kr}. Plastische

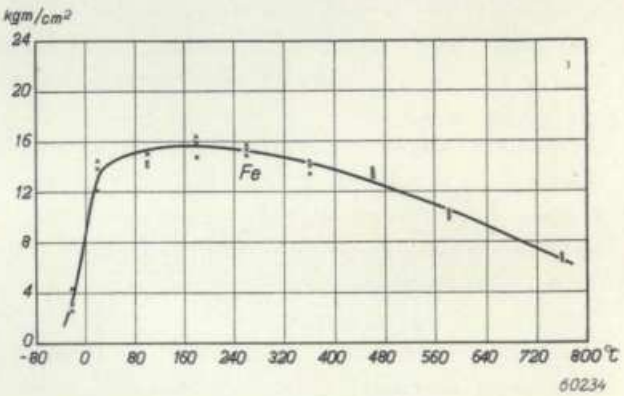


Fig. 4. Kerfslagwaarde van „zuiver" ijzer als functie van de temperatuur. De in het ijzer aanwezige 0,012% zuurstof is met behulp van de aequivalente hoeveelheid zirconium als zirconiumoxyde gebonden. Er treedt een scherpe stijging in de kerfslagwaarde-kromme op bij ongeveer 0 °C.

vervorming zal, zoals hiervoor reeds ter sprake kwam, optreden zolang voldaan is aan de relatie $\sigma_{kr}/\tau_{kr} > \sigma_{max}/\tau_{max}$. Volgens de experimenten (figuur 4) is dit voor ijzer bij hoge temperaturen zeker het geval. De verhouding σ_{kr}/τ_{kr} neemt echter volgens de genoemde onderstelling bij dalende temperatuur af, om ten slotte kleiner te worden dan σ_{max}/τ_{max}. Bros breken zal (ruw gezegd) optreden beneden die temperatuur waarvoor de twee verhoudingen aan elkaar gelijk zijn geworden. Dit zal bij des te hogere temperaturen het geval zijn naarmate σ_{max}/τ_{max} groter is. Nu bleek uit het hierboven behandelde dat deze verhouding bij de kerfslagproef aanzienlijk groter is dan bij de trekproef. De overgang van vervormingsbreuk naar brosse breuk moet bij de kerfslagproef dus bij hogere temperaturen worden verwacht dan bij de trekproef. Dit is inderdaad in overeenstemming met de ervaring.

Ook de snellere uitvoering van de kerfslagproef vergeleken met de trekproef is voor een klein gedeelte verantwoordelijk voor de verschuiving van het overgangsgebied taai-bros naar hogere temperaturen, aangezien de inwendige wrijving (τ_{kr}) met de vloeisnelheid toeneemt, waardoor men

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

bij de kerfslagproef met kleinere waarden van σ_{kr}/τ_{kr} te maken heeft dan bij de trekproef.

De overgang van grote naar kleine kerfslagwaarden vindt niet bij één scherp bepaalde overgangstemperatuur, maar in een breder of smaller temperatuurgebied plaats. Dit kan worden verklaard op grond van het feit dat τ_{kr} met de graad van vervorming toeneemt, indien we daarbij tenminste mogen aannemen (waarover men het niet algemeen eens is) dat σ_{kr} in mindere mate met de deformatie verandert. De verhouding σ_{kr}/τ_{kr} neemt dan niet alleen af bij dalende temperatuur maar ook bij toenemende vervorming. Bij temperaturen die niet veel hoger zijn dan de temperatuur T_k waarbij σ_{kr}/τ_{kr} en σ_{max}/τ_{max} in het onvervormde metaal aan elkaar gelijk zijn, zal dientengevolge reeds na betrekkelijk kleine deformaties deze gelijkheid bereikt zijn en breuk optreden. De kerfslagwaarde zal volgens deze redenering bij stijgende temperatuur niet plotseling maar geleidelijk overgaan van kleine naar grote waarden.

Dat het overgangsgebied toch veel smaller blijkt te zijn dan bij gewone trekproeven en langzaam uitgevoerde kerfbuigproeven, menen wij te kunnen begrijpen door te bedenken dat het vervormingsproces bij de kerfslagproef bijna adiabatisch verloopt, als gevolg van de snelle uitvoering van de proef (deformatietijd ca 1/200 sec). Hierdoor treedt in de deformatiezone tijdens het proces een niet onbelangrijke verhoging van de temperatuur op, die een tegengestelde invloed op τ_{kr} heeft als de mechanische vervorming. Bij temperaturen die niet veel hoger zijn dan de hiervoor genoemde temperatuur T_k, kunnen daardoor reeds grotere deformaties optreden dan men zonder rekening te houden met de adiabatische temperatuurverhoging zou verwachten. Het overgangsgebied zal hierdoor smaller worden (zie *figuur 5*).

Bij „zuiver" ijzer blijft de kerfslagwaarde volgens figuur 4 zo goed als constant tussen ca 20 °C en ca 460 °C. Deze constante waarde bedraagt ongeveer 14 kgm/cm², hetgeen (gegeven de afmetingen der proefstaven) correspondeert met een slagarbeid van $0{,}5 \cdot 14$ kgm $= 0{,}5 \cdot 14 \cdot 2{,}34$ cal $= 16{,}4$ cal. De soortelijke warmte van ijzer bedraagt in het gebied van 20 °C tot 460 °C gemiddeld ongeveer 0,13 cal graad^{-1} gram^{-1}. De vervormde massa is van de orde van grootte van 2 gram. De gemiddelde temperatuurverhoging ΔT in het vervormde gebied bedraagt dus, indien wij in eerste benadering afzien van de toeneming van de potentiële energie in het metaal:

$$\Delta T \approx \frac{16{,}4}{0{,}13 \cdot 2} \approx 60\ ^\circ\text{C}.$$

Ook de experimenteel geconstateerde grote spreiding van de waarden in het overgangsgebied kan enigszins begrepen worden, aangezien een bij het begin van de slag optredende geringe deformatie door de er mee gepaard gaande temperatuurverhoging de kans op een verdere deformatie doet stijgen. Daarentegen zal een zich reeds bij het begin van de slag vormende scheur geen temperatuurverhoging veroorzaken en de neiging vertonen zich voort te planten. Kleine statistische schommelingen zullen dus worden versterkt door het besproken temperatuureffect.

Bij de beschouwde temperaturen boven het overgangsgebied, waarbij een aanzienlijke vervorming aan de breuk voorafgaat, wordt de kerfslagwaarde bijna uitsluitend bepaald door de schuifvastheid en het vervormde volume [4]). Met „schuifvastheid" is in dit geval niet de beginwaarde,

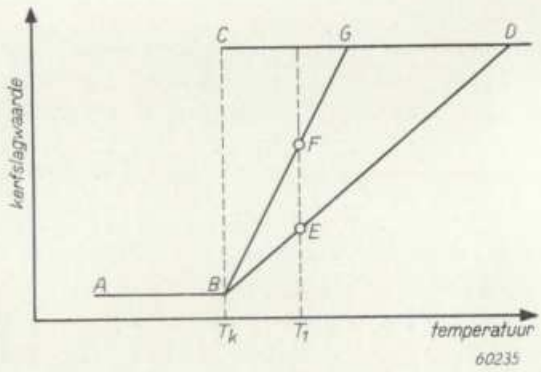


Fig. 5. Hield men geen rekening met de invloed van de vervorming, dan kon men verwachten dat ijzer hoge kerfslagwaarden zou vertonen bij temperaturen gelegen boven een scherp gedefinieerde temperatuur T_k, lage waarden daarentegen bij temperaturen onder T_k. De lijnen CD en AB, die met deze hoge resp. lage waarden corresponderen, zijn hier slechts voor het gemak als horizontale rechten getekend. Houdt men rekening met de invloed van de vervorming (toeneming van τ_{kr}), dan ziet men in dat bij een temperatuur T_1 die niet veel hoger is dan T_k reeds na een betrekkelijk geringe deformatie breuk zal optreden. Met de geringe deformatie correspondeert bijv. de kerfslagwaarde gegeven door punt E. Houdt men echter bovendien rekening met de adiabatische temperatuurverhoging, dan ziet men in dat de aan de breuk voorafgaande vervorming groter zal zijn, waardoor de kerfslagwaarde bijv. stijgt tot die corresponderende met punt F. Het overgangsgebied wordt hierdoor smaller (neemt af van CD to CG in onze schematische figuur).

maar (rekening houdend met de versteviging van het materiaal tijdens de deformatie) een gemiddelde waarde bedoeld, terwijl hier bij de uitdrukking „vervormd volume" niet alleen moet worden gedacht aan het aantal volume-eenheden waarover de vervorming zich uitstrekt, maar ook aan de graad van vervorming van elk onderdeel van dit volume.

Bij een temperatuurstijging van 20 °C tot 460 °C neemt de gemiddelde schuifvastheid zeker sterk af. Dat desondanks bij „zuiver" ijzer de kerfslag-

[4]) Dit is in te zien door te bedenken dat de arbeid A nodig voor het buigen van de staaf kan worden voorgesteld door de symbolische betrekking: A = kracht × weg.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

waarde in dit temperatuurgebied nagenoeg constant bleek te zijn, moet daaraan worden toegeschreven dat het vervormde volume tegelijkertijd zoveel toeneemt, dat deze twee veranderingen elkaar vrijwel compenseren. Qualitatief werd deze toeneming van het vervormde volume ook geconstateerd. Bij temperaturen boven ca 460 °C begint de daling van de gemiddelde schuifvastheid te overheersen, waardoor de kerfslagwaarde daalt. Deze daling berust gedeeltelijk op het feit dat de rekristallisatie (het ontstaan en groeien van nieuwe onvervormde kristallen ten koste van het gedeformeerde metaal) bij hoge temperaturen zo snel verloopt dat de versteviging van het metaal tijdens de vervorming een steeds kleinere rol speelt en ten slotte zelfs in het geheel niet meer optreedt.

De invloed van zuurstof, koolstof en stikstof op het verloop van de kerfslagwaarde-kromme

Zuurstof

Is de in het ijzer aanwezige zuurstof niet, zoals in het hiervoor beschouwde „zuivere" ijzer, gebonden aan een actief element als zirconium, titanium of aluminium, dan heeft dit metalloid een veel nadeliger invloed op de mechanische eigenschappen. Men ziet dit door *figuur 6* voor ijzer met 0,015% zuurstof als enige verontreiniging te vergelijken met figuur 4, die betrekking heeft op ijzer met 0,012% zuurstof in de vorm van ZrO_2.

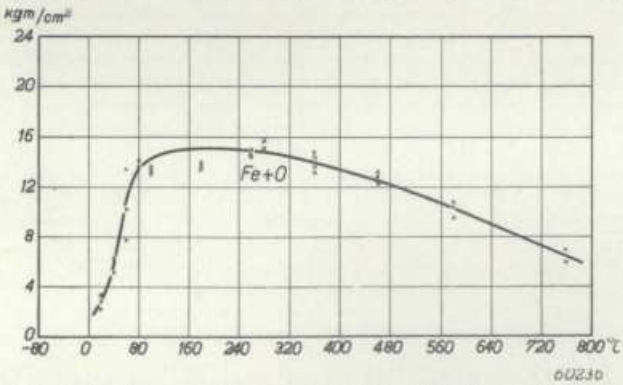


Fig. 6. Kerfslagwaarde van ijzer met 0,015% zuurstof als enige verontreiniging, als functie van de temperatuur. (De zuurstof is nu niet als zirconiumoxyde gebonden.) De steile overgang in de kromme ligt nu bij ongeveer 50 °C.

De kromme in fig. 6 heeft nog hetzelfde verloop als die in fig. 4, behalve dan dat het gebied van steile daling naar hogere temperaturen is verschoven. Dit is in overeenstemming met het hiervoor reeds gevondene dat zuurstof, indien aanwezig als ijzeroxyde, de verhouding σ_{kr}/τ_{kr} van ijzer verlaagt. Bij dalende temperatuur komt dientengevolge deze verhouding eerder beneden de kritieke waarde. Wij nemen in verband met het voorgaande aan, dat de gunstige werking van zirconium, aluminium, enz. op het feit berust dat deze elementen oxyden vormen die zich in tegenstelling met ijzeroxyde niet als aaneengesloten huiden langs de kristalgrenzen afzetten.

Koolstof

Figuur 7 heeft betrekking op ijzer met 0,020% koolstof als enige verontreiniging. (Hier is de zuurstof wel gemakkelijk kwijt te raken, zij verdwijnt nl. bij het smelten in vacuum in de vorm

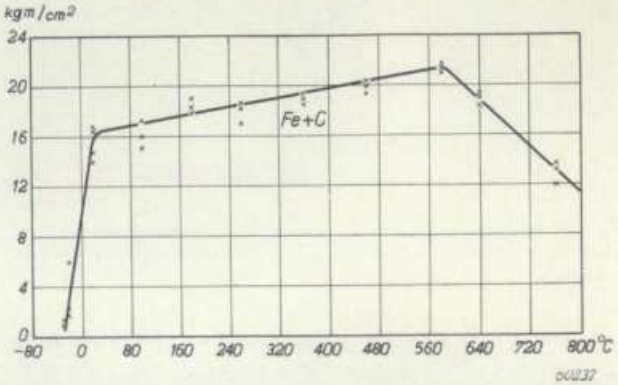


Fig. 7. Kerfslagwaarde van ijzer met 0,02% koolstof als enige verontreiniging, als functie van de temperatuur. De steile overgang ligt bij dezelfde temperatuur als in fig. 4, doch de kerfslagwaarde blijft hier ook nog stijgen, zij het langzaam, bij hogere temperaturen. Boven 580 °C gaat de kromme weer dalen als gevolg van de snelle rekristallisatie tijdens de vervorming in de kerfslagproef.

van CO.) Vrijwel dezelfde kromme werd gevonden voor ijzer met een vier maal zo groot koolstofgehalte. In tegenstelling met het voor „zuiver" en zuurstofhoudend ijzer geconstateerde, neemt hier de kerfslagwaarde tussen 20 °C en 580 °C nog toe. Door het in oplossing gaan van steeds meer koolstof (oplosbaarheid vrijwel gelijk aan nul bij 20 °C en gelijk aan ca 0,01% bij 600 °C) daalt hier de schuifvastheid blijkbaar minder snel bij stijgende temperatuur dan bij „zuiver" ijzer, waardoor de invloed van de stijging van het vervormde volume op de hoeveelheid verbruikte arbeid overheerst. Boven 580 °C krijgt ten slotte het effect van de rekristallisatie de overhand.

Stikstof

Stikstof wordt slechts uiterst langzaam door „zuiver" ijzer opgenomen. Daarentegen blijkt zij sneller te worden opgenomen door zuurstofhoudend vloeibaar ijzer en nog sneller door koolstofhoudend vloeibaar ijzer (zie het in noot [2]) aangehaalde artikel). De invloed van stikstof op de temperatuurafhankelijkheid van de kerfslagwaarde van ijzer werd daarom niet afzonderlijk onderzocht maar afgeleid uit het gedrag van zuurstof-plus-stikstofhoudend ijzer en uit dat van koolstof-plus-stikstofhoudend ijzer.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Fig. 8 vertoont de kerfslagwaarde als functie van de temperatuur van ijzer dat 0,015 % zuurstof en 0,012% stikstof bevat, terwijl *fig. 9* betrekking heeft op ijzer met 0,06% koolstof en 0,018% stikstof. Beide krommen vertonen een vlak minimum tussen 360 °C en 460 °C, dat blijkbaar aan de aanwezigheid van stikstof moet worden toegeschreven, aangezien zuurstof en koolstof elk afzonderlijk geen minimum veroorzaken (figuren 6 en 7).

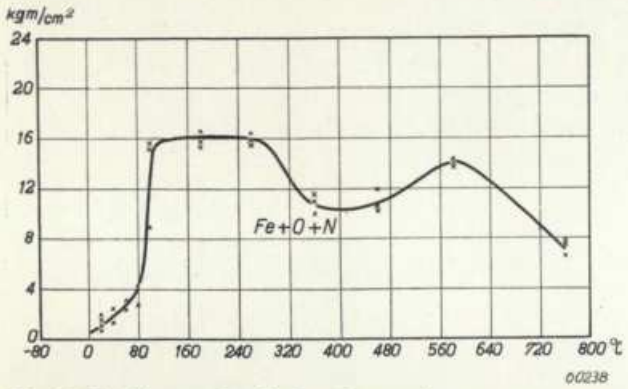


Fig. 8. Kerfslagwaarde als functie van de temperatuur van ijzer met 0,015% zuurstof en 0,012% stikstof als verontreinigingen.

Hoewel in het algemeen koolstof en stikstof zich als gelijkwaardige elementen gedragen, indien zij als verontreinigingen in staal aanwezig zijn, blijkt hier dan toch een opvallend verschil op te treden. Er kan nog geen geheel bevredigende verklaring worden gegeven voor het optreden van het minimum in de kerfslagwaarde-kromme als gevolg van de aanwezigheid van stikstof.

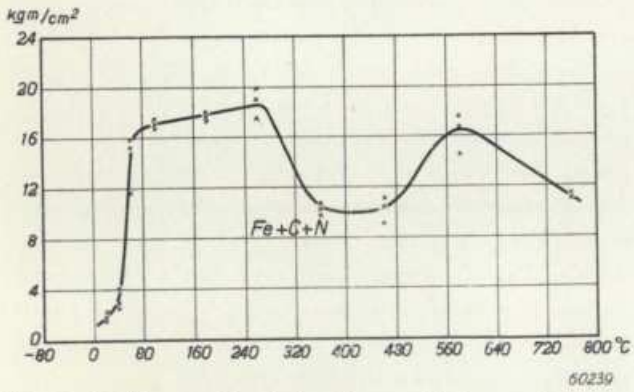


Fig. 9. Kerfslagwaarde als functie van de temperatuur van ijzer met 0,06% koolstof en 0,018% stikstof als verontreinigingen. Evenals in de vorige kromme treedt hier een minimum op tussen 360 °C en 460 °C, dat aan de aanwezigheid van stikstof moet worden toegeschreven.

Opgemerkt zij nog, dat experimenten, uitgevoerd met kerfstaven van technisch vloeistaal (dit is ijzer met o.a. mangaan, zwavel, phosphor, koolstof en zuurstof als bijmengsels), eveneens een minimum in de kerfslagwaarde-kromme te zien geven, ook indien het vloeistaal geheel vrij van stikstof is. Proeven met vloeistaal waaruit zowel de koolstof als de stikstof verdreven zijn, geven een vlakke kerfslagwaarde-kromme. Terwijl dus bij zuiver ijzer de aanwezigheid van stikstof noodzakelijk is voor het optreden van een minimum, blijkt bij vloeistaal eventueel de koolstof de rol van de stikstof te kunnen overnemen.

Samenvatting. De resultaten van experimenten over de kerfslagwaarde van zuiver ijzer en van ijzer met opzettelijk toegevoegde verontreinigingen worden besproken. Hieraan vooraf gaat een beschrijving van de kerfslagproef volgens de methode van Charpy en een overzicht van de eenvoudigste voorstellingen die men zich volgens bekende theorieën kan vormen van het verband tussen de spanningstoestand in een belast metaal en het eventuele optreden van plastische vervorming resp. breuk. Volgens dit vereenvoudigde beeld treedt een plastische vervorming van het materiaal op, indien bij toenemende belasting de zg. schuifvastheid van het metaal eerder wordt overschreden dan de zg. cohaesievastheid; in het tegengestelde geval zal het metaal bros breken. Bij de kerfslagproef is de spanningstoestand tijdens de belasting zodanig dat de kans op bros breken groter is dan bij de gewone trekproef. — Het blijkt dat zuurstof de kerfslagwaarde van ijzer bij 20 °C sterk verlaagt. Sporen koolstof kunnen deze schadelijke werking van zuurstof aanzienlijk verminderen. Als gevolg van de sterke toeneming van de schuifvastheid bij dalende temperatuur (bij een ondersteld constant blijven van de cohaesievastheid) vertoont de kerfslagwaarde van zuiver ijzer bij dalende temperatuur in de buurt van 0 °C dezelfde overgang van hoge naar lage waarden die voor gewoon technisch vloeistaal reeds lang bekend is. Als gevolg van een adiabatische temperatuurverhoging, die in het deformatiegebied tijdens de buiging optreedt, strekt deze overgang zich over een kleiner temperatuurgebied uit dan bij langzaam uitgevoerde trek- of buigproeven. Wordt zuurstof als bijmengsel aan het ijzer toegevoegd, dan wordt daardoor de steile overgang naar hogere temperaturen verschoven: zuurstof verlaagt de cohaesievastheid van het ijzer. Koolstof doet boven het overgangsgebied de kerfslagwaarde-kromme langzaam stijgen bij toenemende temperatuur, stikstof veroorzaakt in de kromme een vlak minimum bij temperaturen van omstreeks 400 °C. Een dergelijk minimum wordt waargenomen in de kerfslagwaarde-kromme van vloeistaal, ook indien dit geen stikstof bevat. Een alleszins bevredigende verklaring kan van dit verschijnsel nog niet worden gegeven.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

OVERZICHT VAN RECENTE WETENSCHAPPELIJKE PUBLICATIES DER N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN

Van deze publicaties, voorzover niet met een sterretje * gemerkt, verstrekt de Administratie van het Laboratorium voor Wetenschappelijk Onderzoek, Kastanjelaan, Eindhoven, op aanvrage overdrukken.

1850: H. G. Beljers: Measurements on gyromagnetic resonance of a ferrite using cavity resonators (Physica **14**, 629-641, 1949, No. 10).

Ferrieten vertonen, in een constant magneetveld H geplaatst, gyromagnetische resonantie, dwz. in een magnetisch wisselveld loodrecht op het constante veld vertoont de amplitude van het magnetisch moment als functie van de frequentie een maximum in de buurt van de Larmor-frequentie der electronenspins. Deze resonantie wordt onderzocht in een trilholte, waarin kleine bolletjes van het materiaal zijn gerangschikt langs een knooplijn van het electrische veld. Het blijkt dat hierbij een demping optreedt. De resonantie en de demping worden afgeleid uit de verstemming van de trilholte en als functie van het veld H bij constante frequentie onderzocht. Voor de factor g van Landé, die voor vrije electronen de waarde 2 heeft, wordt de waarde 2,12 gevonden.

1851*: H. Bremmer: Terrestrial radio waves. Theory of propagation (X + 343 blz. 91 fig.; Elsevier Publ. Co., Inc., New York, Amsterdam, London, Brussels, 1949).

Het probleem van de voortplanting van radiogolven, dat in dit boek wordt behandeld, bestaat in het bepalen van het electromagnetische veld, en in het bijzonder het electrische veld, indien de zender als bron van electromagnetische golven gegeven is. Terwijl dit probleem eenvoudig is in het geval van een zender geplaatst in de lege ruimte, wordt het vrij gecompliceerd als de storing ten gevolge van een bolvormig gedachte aarde in rekening moet worden gebracht. Het probleem is dan in hoofdzaak een buigingsvraagstuk. Bovendien moet nog de invloed van de ionosfeer en van de breking in de lagere lagen van de troposfeer in rekening worden gebracht.

In H. II t/m VI van dit boek worden de laatstgenoemde invloeden geheel verwaarloosd, zodat de atmosfeer als een lege ruimte wordt opgevat. De aldus verkregen resultaten kunnen worden toegepast in die gevallen waarin het door de ionosfeer veroorzaakte veld (sky wave) klein is vergeleken bij het directe veld (ground wave). Er wordt een oplossing van de vergelijkingen van Maxwell gezocht en verkregen, waarbij binnen de aarde een constante waarde van de diëlectrische constante ε en het geleidingsvermogen σ worden aangenomen terwijl daarbuiten $\varepsilon = 1$ en $\sigma = 0$. De zender wordt puntvormig gedacht, zodat het veld ter plaatse van de zender een singulariteit bezit. Het radioprobleem is in deze vorm mathematisch aequivalent met een aantal optische, acoustische en elastische problemen, zoals: lichtverstrooiïng (Rayleigh), optische verschijnselen bij colloïdale deeltjes (Mie, Debije), theorie van de regenboog (Airy).

Bij de behandeling van het golfprobleem in vectorvorm wordt het onderzoek van de zes componenten van het electromagnetische veld vervangen door de bepaling van de vector van Hertz, waaruit alle componenten door differentiatie kunnen worden afgeleid. Op deze wijze wordt het oorspronkelijke vectorprobleem herleid tot een scalar-probleem, in welke vorm de oplossing kan worden toegepast op acoustische vraagstukken, zoals de buiging van geluidsgolven om het menselijk hoofd en de acoustiek van een bolvormig gewelf, en op het geologische probleem van de voortplanting van aardbevingsgolven.

Als de inhomogeniteit van de atmosfeer in rekening wordt gebracht, zoals geschiedt in H.VII t/m XI, is het probleem eveneens verwant met andere problemen zoals de terugkaatsing van acoustische golven door de stratosfeer en de voortplanting van geluidsgolven in de oceaan.

In de inleiding (I) wordt het probleem gesteld en op het verband met andere problemen gewezen, zoals boven reeds is aangegeven. Verder bevat dit hoofdstuk enkele historische opmerkingen en een algemeen overzicht.

Het nu volgende eerste deel, waarin de theorie van een homogene atmosfeer wordt behandeld, bestaat uit de volgende hoofstukken: II) de reeks van zonale bolfuncties van de grondgolf; III) de transformatie van Watson en de residu-reeks; IV) berekeningen met behulp van de residu-reeks; V) geometrisch-optische benaderingen; VI) numerieke berekeningen en resultaten. Het tweede deel, waarin de theorie voor een inhomogene atmosfeer wordt behandeld, bestaat uit de hoofdstukken: VII) algemene beschouwingen; VIII) geometrisch-optische berekeningen; XI) berekening van het veld als een som van „modi"; X) bijzondere toepassingen; XI) het effect van het aardmagnetische veld. Talrijke figuren verduidelijken de veldverdeling onder verschillende omstandigheden. (Zie ook deze overzichten No's **1790**, **R 97** en **R 108**.)

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

R 105: G. Diemer en K. S. Knol: Frequency conversion by phase variation (Philips Res. Rep. **4**, 161-167, 1949, No. 3).

Theoretische studie van een verbetering van de phaseomkeermethode van Herold, waaruit blijkt dat een hogere waarde van de conversiesteilheid kan worden bereikt dan Herold aangaf. Bewezen wordt dat deze gelijk kan worden aan de steilheid bij hoge frequenties. Deze verbetering (ten bedrage van een factor $\pi/2$) wordt verkregen door de phase van de steilheid op geschikte wijze als functie van de tijd te laten variëren. De berekende waarde is tevens het theoretisch bereikbare maximum. De theorie is voor lage frequenties bevestigd door metingen aan een kathodestraalbuis.

R 106: A. van der Ziel en K. S. Knol: On the power gain and the bandwidth of feedback amplifier stages (Philips Res. Rep. **4**, 168-178, 1949, No. 3).

Discussie van de invloed van terugkoppeling op de energieversterking van een versterkingstrap. Aangetoond wordt dat, als de stabiliteitsgrens is bereikt, de energieversterking eindig blijft. Toepassing op het geval van een triode met geaard rooster. Het blijkt dat vrij kleine uitgangsverliezen reeds tot een aanzienlijk verlies in versterking kunnen leiden. Bij dezelfde triode wordt de invloed van terugkoppeling op de bandbreedte van een versterkingstrap onderzocht. Het product van bandbreedte en versterking wordt tegen de laatste uitgezet (met de koppeling tussen uitgangskring en uitgangsbelasting als parameter) voor verschillende waarden van de terugkoppelcapaciteit en de uitgangsverliezen. Aangetoond wordt dat de versterker die bij een geschikte uitgangskoppeling op de rand van oscilleren is, alleen in een zeer smalle band een grote versterking kan geven; door versterking van de terugkoppeling kan de bandbreedte dan aanzienlijk vergroot worden.

R 107: C. J. Bouwkamp: On the effective length of a linear transmitting antenna (Philips Res. Rep. **4**, 179-188, 1949, No. 3).

Uitbreiding van het begrip „effectieve lengte" van een antenne, door King ingevoerd voor een cylindrische, in het midden gevoede antenne. De nieuwe definitie kan op iedere stroomverdeling worden toegepast. Als voorbeeld wordt een in de top gevoede antenne uitvoerig behandeld.

R 108: H. Bremmer: Some remarks on the ionospheric double refraction, II (Philips Res. Rep. **4**, 189-205, 1949, No. 3).

De vergelijkingen van Maxwell voor de uitbreiding van vlakke golven door een gelaagd anisotroop medium worden herleid tot een systeem van vier differentiaalvergelijkingen van de eerste orde. Deze vergelijkingen lenen zich uitstekend voor het opstellen van W.K.B.-benaderingen. De theorie wordt in detail uitgewerkt voor het geval van een gelaagd isotroop medium. Ten slotte wordt een methode aangegeven om de veldsterkte bij ionosferische reflecties te berekenen. (Zie ook deze overzichten No. **1851**).

R 109: J. A. Haringx: On highly compressible helical springs and rubber rods, and their application for vibration-free mountings, III (Philips Res. Rep. **4**, 206-220, 1949, No. 3).

Behandeling van de elastische stabiliteit en de zijdelingse stijfheid van sterk samendrukbare massieve rubberstaven, waarbij gebruik gemaakt wordt van de in I en II afgeleide vergelijkingen voor de — de schroefveer vervangende — elastische prismatische staaf (zie **R 91** en **R 97**). Hier doet zich echter een complicatie voor ten gevolge van de invloed van de welving der oorspronkelijk vlakke doorsneden op de stijfheid tegen afschuiving. Voor cylindrische of rechthoekige staven is dit van minder belang, zodat voor deze gevallen een oplossing kan worden gegeven. Wat betreft het uitknikken bestaat een redelijke overeenstemming met experimenten van Kosten. De optredende kleine afwijkingen moeten worden toegeschreven aan de beperkte geldigheid van de formules die het elastisch gedrag van sterk samengeperst rubber beschrijven. Als de rubberstaven aan metalen eindstukken zijn vastgevulcaniseerd of op een andere wijze daaraan zijn verbonden, moet aan de einden een kleine laag als volkomen onsamendrukbaar worden beschouwd. Men moet echter daarbij wel in het oog houden, dat deze laag bij afschuiving volkomen elastisch blijft. De invloed hiervan op de zijdelingse stijfheid wordt in rekening gebracht.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!